www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

11e JAARGANG No. 12, blz. 349-380 DECEMBER 1949

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: LABORATORIUM VOOR WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN NIEUWE THERMISCH EMITTERENDE KATHODE VOOR ZWARE BELASTINGEN

door H. J. LEMMENS, M. J. JANSEN en R. LOOSJES.

621.3.032.213.2:
621.385.13.029.6

Dat de electronica, d.i. die tak der electrotechniek waarin met vrije electronen wordt gewerkt, zulk een grote betekenis heeft kunnen verkrijgen, is grotendeels te danken aan het gemak waarmee men vrije electronen kan produceren: men verhit een geleider of halfgeleider, en electronen „verdampen" er uit. De op dit principe berustende thermisch emitterende kathode is een obligaat onderdeel geworden in ontelbare typen electronenbuizen — een onderdeel waaraan bij beschrijvingen van de buizen meestal weinig aandacht meer wordt besteed, omdat de kathode bij de constructie der buizen geen speciale moeilijkheden oplevert. Bij allerlei moderne buizen echter, in het bijzonder voor zeer korte golven, is de kathode weer „interessant" geworden door de buitensporige eisen die er in deze buizen aan worden gesteld. Een nieuwe, in het Philips-laboratorium te Eindhoven ontwikkelde kathode (de zg. L-kathode) zal in vele gevallen aan deze eisen kunnen voldoen, o.a. dank zij haar grote maximale emissie; zij kan, bij een behoorlijke levensduur, enige honderden ampère per cm² oppervlak leveren.

Verschillende typen thermisch emitterende kathoden

In electronenbuizen worden tegenwoordig drie typen thermisch emitterende kathoden op grote schaal toegepast: de wolfraamkathode, de gethorieerde wolfraamkathode, en de oxydekathode. In *tabel I* geven wij een overzicht van een aantal eigenschappen dezer kathoden.

De oxydekathode heeft van alle typen verreweg het beste thermische rendement, dwz. zij vereist voor een bepaalde geleverde electronenstroom het geringste gloeistroomvermogen. Deze kathode is derhalve de aangewezen oplossing voor radio-ontvangbuizen, waarbij de grootte van het benodigde gloeistroomvermogen een belangrijk punt van overweging vormt. Onaangename eigenschappen van de oxydekathode, bijv. dat zij door sporen zuurstof of andere gassen in de buis „vergiftigd" wordt (in emissie achteruitgaat) en dat er door verdamping van barium en strontium uit de kathode gevaar bestaat dat ook de roosters en de anode electronen gaan emitteren, zijn in dit geval geen overwegend bezwaar. Wel is het laatstgenoemde nadeel zeer bezwaarlijk voor zendbuizen en röntgenbuizen. Bovendien moet bij deze buizen de kathode bestand zijn tegen de electrostatische aantrekkingskrachten

Tabel I. Eigenschappen van enige gangbare kathodetypen.

Type		Maximale bruikbare thermische emissie in A/cm²	Maximaal bruikbaar thermisch rendement in A/watt	Vergiftigbaarheid	Bestendigheid tegen hoge spanning	Bestendigheid tegen snelle gasionen
Wolfraam		1	0,006	gering	goed	goed
Gethorieerd wolfraam		2	0,070	groot	goed	slecht
Oxydekathode *)	continu	0,5	0,25	groot	slecht	gedurende korte tijd goed
	pulsemissie	50	20	groot	vrij goed	

*) $BaCO_3$ en $SrCO_3$ aangebracht in gewichtsverhouding ongeveer 1:1.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de anode, die op hoge spanning staat — een eigenschap die de normale oxydekathode niet bezit. Daar het echter in deze gevallen minder op het thermische rendement van de kathode aankomt, kan men hier zeer goed kathoden van wolfraam of gethorieerd wolfraam gebruiken.

Terwijl men aldus bij de genoemde buizen, en ook bijv. bij kathodestraalbuizen, hoogspanningsventielen, iconoscopen enz., steeds met een der genoemde kathodetypen tot een min of meer bevredigende oplossing heeft kunnen komen, is dit bij moderne soorten electronenbuizen, met name voor het opwekken of versterken van zeer korte golven, niet altijd mogelijk gebleken, daar hier soms geheel nieuwe combinaties van eigenschappen worden verlangd. Bij magnetrons voor radar-installaties bijv. moet de kathode kortstondig een emissie leveren met stroomdichtheden [1]) van ettelijke tientallen A/cm², en tevens moet zij bestand zijn tegen hoge spanningen, alsook tegen een bombardement door versnelde, op de kathode terugvallende electronen. Men heeft hierin enigermate kunnen voorzien door de oxydelaag te versterken met ingebouwd metaal, meestal nikkel, dat in de vorm van gaas of van een grof, op de onderlaag vastgesinterd poeder wordt aangebracht [2]). Een andere, principiële, moeilijkheid die zich bij buizen voor zeer korte golven voordoet, houdt verband met het ontgassen: zulke buizen moeten meestal relatief grote onderdelen van koper bevatten, die niet zo hoog mogen worden verhit als voor het uitdrijven van de laatste gasresten bij de fabricage wenselijk zou zijn. Het activeren van een oxydekathode in zulk een buis wordt derhalve belemmerd doordat daarbij nog weer gassen uit de koperen wanden vrijkomen, waardoor dit kathodetype wordt vergiftigd en min of meer blijvende schade oploopt. Anderzijds kan men bij ultrakortegolf-buizen meestal niet met kathoden van wolfraam of gethorieerd wolfraam werken, aangezien de, door de golflengte voorgeschreven, zeer kleine afmetingen der kathoden een zeer grote specifieke emissie (eventueel in impulsen) nodig maken, wil men behoorlijk grote vermogens kunnen opwekken.

Uitgaande van de eisen voor een bepaalde buissoort, is nu in de laatste jaren in het Philips-laboratorium te Eindhoven een nieuw type kathode ontwikkeld, welke een grote mechanische sterkte combineert met gunstige emissie-eigenschappen en met een goede resistentie tegen verontreinigingen.

[1]) De emissie behoeft hierbij niet zuiver thermisch te zijn, maar kan ten dele als secundaire emissie worden verkregen. Dit komt hieronder nog ter sprake.

[2]) J. B. Fisk, H. D. Hagstrum en P. L. Hartman, Bell Syst. Techn. J. **25**, 167-348, 1946.

Deze en andere goede eigenschappen van de nieuwe kathode, die verder als L-kathode zal worden aangeduid, laten verwachten dat zij voor sommige moderne buizen voortreffelijk geschikt zal zijn, en dat zij de beperkingen die tot nu toe door de kathode aan de constructie dezer buizen werden gesteld zal doen vervallen. Bij verschillende typen buizen is dit inmiddels ook reeds door de ervaring bevestigd.

In de volgende paragraaf zullen wij de bouw van de L-kathode beschrijven. De verdere paragrafen van dit artikel bevatten een behandeling van de voornaamste eigenschappen van de nieuwe kathode en een uiteenzetting van de voorstelling die men zich van het emissiemechanisme dezer kathode kan maken.

Constructie van de L-kathode

In *fig. 1a* en *b* hebben wij twee uitvoeringsvormen van de L-kathode in doorsnede weergegeven. De kathoden van de vorm (*a*) hebben een cylindrisch emitterend oppervlak en kunnen bijv. worden gebruikt in magnetrons; die van de vorm (*b*) hebben een vlak, cirkelvormig, emitterend oppervlak en

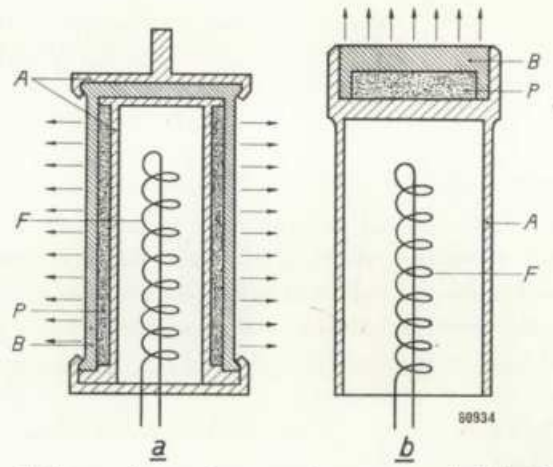


Fig. 1. Doorsnede van twee grondvormen van de L-kathode. *a*) Met cylindrisch emitterend oppervlak. *b*) Met vlak, cirkelrond, emitterend oppervlak.
A wand van molybdeen, *B* wand van poreus wolfraam, *P* pastille van barium-strontiumoxyde, *F* gloeidraad.

zijn geschikt voor inhaal- en reflectiebuizen („klystrons"), schijfdioden en -trioden („disc-seal"-buizen) en ook bijv. voor kathodestraalbuizen en iconoscopen. Voor de beschrijving houden wij ons gemakshalve aan de vorm (*b*).

De kathode bestaat uit twee kamers, gemaakt uit één stuk molybdeen. De onderste kamer is aan een zijde open; hierin wordt een geïsoleerde gloeidraad aangebracht, waardoor de kathode indirect wordt verhit. De bovenste kamer is afgesloten door een kapje van poreus wolfraam. Onder dit kapje bevindt zich een pastille barium-strontium-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

carbonaat (gewichtsverhouding ongeveer 1:1). Het bovenkamertje heeft geen andere verbinding met de ruimte er buiten dan via de poriën van het wolfraam. Aan de onderzijde van de kathode kan men de benodigde steunpolen lassen, om de kathode op de juiste plaats te kunnen bevestigen.

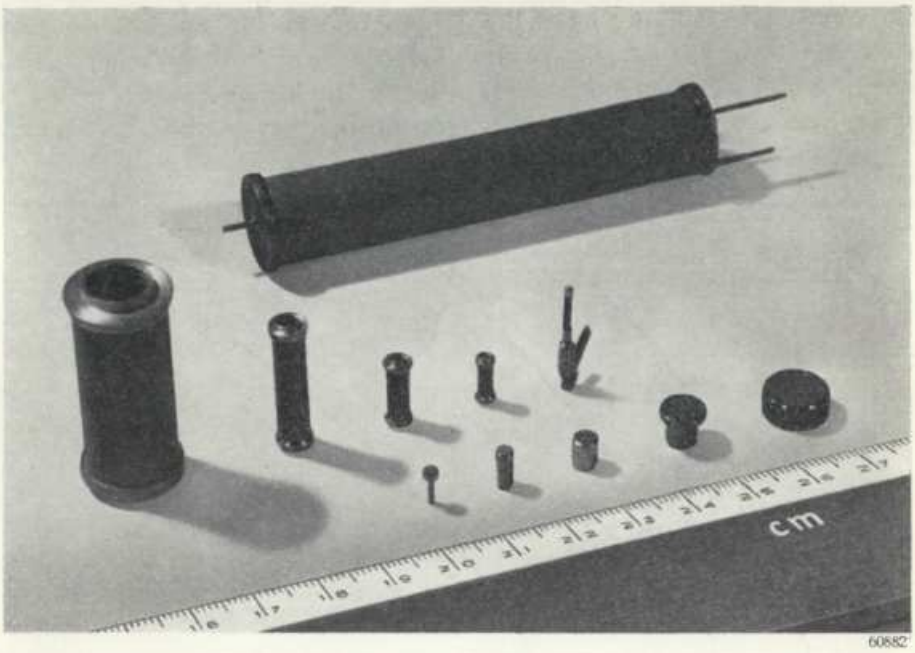


Fig. 2. Verschillende uitvoeringsvormen van de L-kathode, voor diverse buizen.

In de kathode volgens fig. 1*a* vindt men de analoge verdeling in twee kamers, waarvan diegene die de pastille bevat slechts via een mantel van poreus wolfraam in verbinding met de buitenruimte staat.

Met behoud van dit constructieprincipe kan de L-kathode in allerlei varianten op de twee beschreven grondvormen worden vervaardigd. Een reeks verschillende uitvoeringen zijn in *fig. 2* afgebeeld.

Het kapje resp. de cylinder (in fig. 1*a*) van poreus wolfraam wordt vervaardigd door wolfraampoeder onder hoge druk te persen en daarna bij hoge temperaturen te sinteren.

Om de kathode te activeren, wordt deze, na montage in een buis, in vacuo eerst verhit tot ongeveer 1100 °C. Hierbij wordt het barium-strontiumcarbonaat onder afgifte van koolzuur omgezet in barium-strontiumoxyde. Nadat het koolzuur, dat door de poreuze wolfraamwand ontwijken kan, is weggepompt, wordt verder verhit tot een hogere temperatuur. Tijdens deze laatste verhitting begint de kathode thermisch electronen te emitteren, en na kortere of langere tijd (deze hangt van de temperatuur af) bereikt de emissie een vrijwel constante waarde. De kathode is dan voor gebruik gereed.

Thermische electronenemissie van de L-kathode

Bij het vergelijken van verschillende kathoden zal men zich in de eerste plaats interesseren voor de temperatuurafhankelijkheid van de emissie (met emissie bedoelen we in het vervolg de dichtheid van de uitgezonden electronenstroom, in A/cm²).

In *fig. 3* hebben wij deze afhankelijkheid voor de L-kathode en voor de drie in tabel I vermelde kathodetypen grafisch voorgesteld, door de logarithme van de verzadigingsemissie uit te zetten als functie van de temperatuur. De verzadigingsemissie is ongeveer de maximale emissie die men bij gegeven temperatuur uit een kathode kan trekken.

Vraagt men naar de temperatuur die nodig is om een voorgeschreven verzadigingsemissie te verkrijgen, dan ziet men uit fig. 3 dat de L-kathode een plaats inneemt tussen de oxydekathode en de gethorieerde wolfraamkathode. Hierbij dient nog te worden aangetekend dat uit een oxydekathode in continu bedrijf slechts ongeveer een honderdste deel van de verzadigingsemissie mag worden getrokken, daar anders de emitterende laag beschadigd wordt. De andere kathodetypen kan men continu met een emissie dichtbij de verzadigingswaarde belasten. De bedrijfstemperatuur van de oxydekathode voor een bepaalde gewenste emissie zal dus niet zó laag kunnen worden gekozen als men uit fig. 3 zou concluderen.

Vraagt men vervolgens naar de grootste te verkrijgen emissie, d.i. het eindpunt tot waartoe de krommen in fig. 3 zijn getekend, dan valt het op,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dat men bij de L-kathode veel verder is gekomen dan met enig ander kathodetype. Daarbij moet men nog in het oog houden dat het afbreken van de krommen niet in alle gevallen op dezelfde oorzaken berust. Bij de drie eerder genoemde kathodetypen lopen de krommen niet verder omdat bij hogere temperatuur de kathode zeer snel bezwijkt; het uiterste stuk van de kromme voor de oxydekathode, dat tot ca 120 A/cm² doorloopt, is bovendien alléén met pulsemissie te realiseren. Bij de L-kathode daarentegen wordt het eindpunt van de kromme, dat bij ongeveer 300 A/cm² is aangegeven waarin een nauwkeurig bekend en homogeen belast kathode-oppervlak aan de emissie meedoet. We gebruikten hiervoor een vlakke kathode, bijv. van 6 mm² emitterend oppervlak, en een daaraan evenwijdige vlakke anode. De afstand tussen kathode en anode werd zeer klein gemaakt, zodat de met het oog op de tegenwerkende ruimtelading nodige anodespanning bij een emissie van 40 A/cm² (de grootste tot nu toe gerealiseerde continue belasting van de L-kathode) slechts 400 volt bedroeg. Dit betekent echter bij die emissie toch nog een dissipatie van 1 kW, op een klein anode-opper-

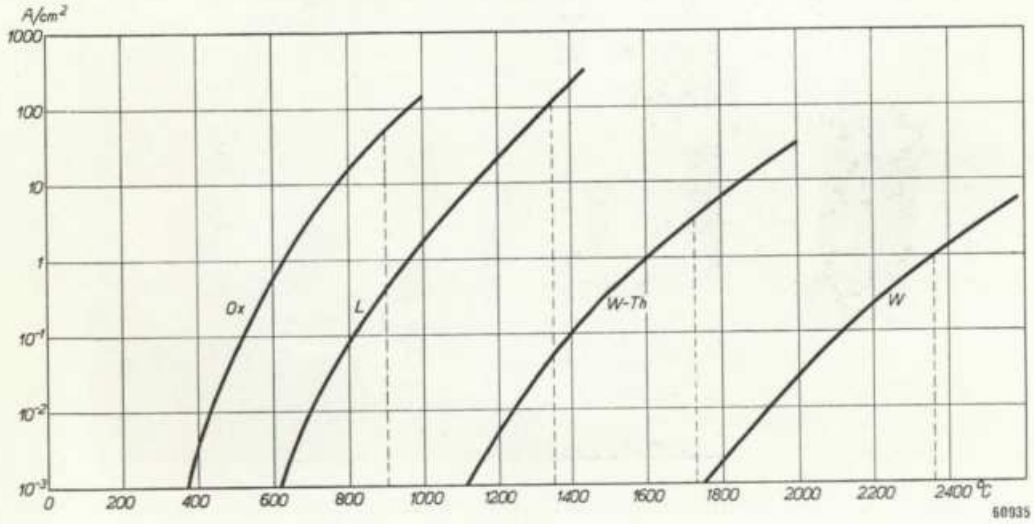


Fig. 3. Verzadigingsemissie J_s (in ampère/cm²) als functie van de temperatuur (in °C), voor de L-kathode en drie andere kathodetypen. (De krommen voor deze drie typen, evenals de gegevens voor de corresponderende krommen in fig. 4 en 5 en voor tabel II, zijn ontleend aan: G. Hermann en S. Wagener, Die Oxydkathode, uitg. J. A. Barth, Leipzig 1944, Band II, pag. 79-80.) Langs de abscis is, evenals in fig. 4 en 5, de ware temperatuur uitgezet (dus niet de „zwarte" temperatuur, zoals veelal geschiedt). Voor elke kathode is door een verticale stippellijn aangegeven wat ongeveer de maximale temperatuur is waarop zij gebruikt kan worden als men een levensduur van op zijn minst enige honderden uren wenst. Bij de kromme voor de oxydekathode moet men in het oog houden dat de af te lezen emissiewaarden alleen met pulsemissie te gebruiken zijn. Continu kan men slechts ongeveer $^1/_{100}$ gedeelte van deze emissie trekken. De krommen eindigen bij een temperatuur waarop de desbetreffende kathode zeer spoedig zou bezwijken; bij de L-kathode echter is het eindpunt veeleer door moeilijkheden bij de meting bepaald, daar men hier tot buitengewoon grote emissies komt. Deze grote maximale emissie (alsmede andere, in de tekst te bespreken eigenschappen, die niet in de emissiekromme tot uitdrukking komen) geeft de L-kathode haar bijzondere betekenis.

en dat in principe even goed met continue als met pulsemissie kan worden bereikt, eigenlijk *niet door de kathode zelf bepaald*, maar door moeilijkheden bij de meting. Bij pulsemissie van ongeveer 300 A/cm² trad in de door ons gebruikte meetbuizen een gasontlading op, die vermoedelijk moet worden geweten aan een gasontwikkeling uit het anodemateriaal door de plotselinge verhitting: tijdens een impuls worden op de anode enige megawatt/cm² gedissipeerd. Bij de metingen met continue emissie levert de dissipatie van de energie aan de anode nog grotere moeilijkheden op. Uiteraard moet de meting geschieden met een electrodenconfiguratie vlak; zelfs met waterkoeling bood het afvoeren van dit vermogen geen geringe moeilijkheden.

Het is zeer wel mogelijk dat in practische gevallen de dissipatiemoeilijkheden beter zullen kunnen worden opgelost dan bij de door ons voor de meting geconstrueerde buizen, en dat men dan nog hogere emissies uit de L-kathode zal kunnen trekken. In ieder geval blijkt uit het bovenstaande dat men bij nieuw te ontwikkelen buizen, dank zij de L-kathode, voorlopig niet meer zal behoeven vast te lopen op de bereikbare emissie.

Behalve de maximale emissie en het verloop van de emissie met de temperatuur, moeten wij ook het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

thermische rendement van de kathode bezien. Hieronder wordt verstaan de maximaal te emitteren electronenstroom in ampère per watt gloeistroomvermogen. Het vereiste gloeistroomvermogen wordt in eerste instantie alleen bepaald door de warmteverliezen ten gevolge van straling en geleiding, bij de temperatuur waarbij de kathode de gewenste electronenemissie levert. Dit vermogen zal dus kleiner zijn naarmate de emissiekromme in fig. 3 bij lagere temperaturen verloopt en naarmate de kathode sterker van het zwarte lichaam afwijkt, dwz. minder straalt bij gegeven temperatuur. Wat de warmteverliezen door geleiding (via de steunpolen enz.) betreft, hiervan ziet men gewoonlijk af, als men verschillende kathodetypen onderling wil vergelijken, aangezien deze verliezen zeer sterk van de constructie van de buis afhangen. Ook verwaarloost men dan de straling door delen van de kathode die niet bijdragen tot de electronenemissie.

De aldus bepaalde theoretische rendementen, waarin dus alleen de temperatuurafhankelijkheid van de emissie en de stralingseigenschappen van het kathode-oppervlak een rol spelen, hebben wij in *fig. 4* als functie van de verzadigingsemissie uitgezet, wederom voor de L-kathode en de drie andere kathodetypen. Uit de figuur leest men af dat het theoretische rendement van de L-kathode groter is dan dat van de wolfraamkathode en van de gethorieerde wolfraamkathode, doch kleiner dan dat van een normale oxydekathode. Dit laatste is niet te verwonderen, aangezien de temperatuur van de L-kathode hoger is dan die van de oxydekathode, bij gelijke verzadigingsemissie, terwijl bovendien het poreuze metaaloppervlak van de L-kathode een goede warmtestraler is.

Uit het bovenstaande kan men alvast de conclusie trekken dat voor buizen waarvoor men betrekkelijk geringe stroomdichtheden nodig heeft, bijv. minder dan 0,25 A/cm², en waarvoor een zo klein mogelijk gloeistroomvermogen wordt gevraagd (zoals in normale radio-ontvangbuizen), de oxydekathode de voorkeur boven de L-kathode verdient [3]). Bij grotere emissiestroom echter is het, alvorens conclusies te trekken, noodzakelijk de beschouwing van het thermische rendement nog wat te verdiepen.

Vooruitlopend op de bespreking van het emissiemechanisme, die wij hieronder zullen geven, kunnen wij de emissie-eigenschappen van de verschillende kathodetypen in verband brengen met hun uittreepotentiaal φ; een electron dat de kathode wil verlaten en zich in het vacuum wil begeven, moet aan het oppervlak een potentiaalsprong φ overwinnen, waarvan de waarde karakteristiek is voor het type kathode. Bij kamertemperatuur hebben slechts weinig electronen de voor het overwinnen van de potentiaalsprong nodige energie $e\varphi$ (e = lading van het electron). Bij hogere temperatuur neemt dit aantal snel toe, zodat dan een meetbare hoeveelheid electronen geëmitteerd wordt. Hiervoor wordt natuurlijk weer eenzelfde aantal electronen uit de toevoerdraad aan de kathode teruggeleverd. Aangezien nu voor de te emitteren electronen de energierijkste geselecteerd worden, terwijl dit voor de toegevoerde niet het geval is, is het

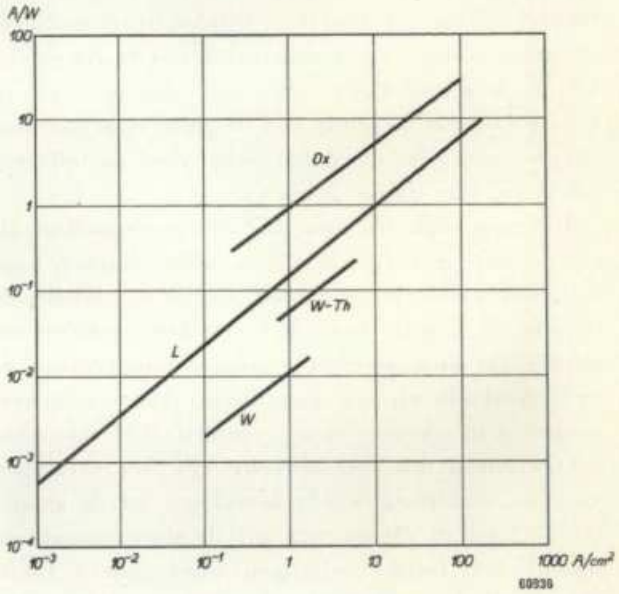


Fig. 4. Theoretisch thermisch rendement (in ampère per watt gloeistroomvermogen) als functie van de verzadigingsemissie J_s, voor de L-kathode en drie andere kathodetypen.

resultaat dat de kathode bij de emissie energie verliest, of met andere woorden dat er een afkoeling van de kathode optreedt. Bij emissie van grote aantallen electronen wordt dit effect zeer merkbaar, zoals een voorbeeld moge illustreren: indien met een continue emissie van 40 A/cm² wordt gewerkt, en we nemen voor φ een waarde van 1,8 volt aan (dit is een normale waarde voor de L-kathode), dan voeren de geëmitteerde electronen dus $40 \cdot 1{,}8 = 72$ watt/cm² uit de kathode mee (in werkelijkheid nog iets meer, aangezien de electronen de kathode ten dele met een niet te verwaarlozen snelheid verlaten). Met dit bedrag moet het gloeistroomvermogen dan ook inderdaad worden verhoogd om het kathode-oppervlak op de voor de emissie nodige temperatuur te houden. Voor deze temperatuur zou zonder emissie, dus alleen om de stralingsverliezen te

[3]) Dit blijft ook nog waar als men de bovenvermelde omstandigheid in rekening brengt dat van de verzadigingsemissie der oxydekathode slechts een fractie voor continu bedrijf mag worden gebruikt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dekken (theoretisch rendement) een vermogen van 20 watt/cm² voldoende zijn.

Bij de oxydekathode is het afkoelingseffect ca $1^1/_2$ maal zo klein, doordat deze een uittreepotentiaal $\varphi = 1{,}0$ à $1{,}5$ V heeft. Bovendien echter treedt bij deze kathode nog een ander, in tegengestelde richting werkend effect op. De emitterende oxydelaag is een halfgeleider, heeft dus voor de electronenstroom (anodestroom), die er dwars doorheen moet vloeien om geëmitteerd te worden, een vrij grote weerstand R. In de oxydelaag wordt derhalve door de geëmitteerde stroom i een Joule-warmte $i^2 \cdot R$ ontwikkeld, die bij grote stromen, zoals bij pulsemissie uit de oxydekathode worden getrokken, zeer grote waarden aanneemt [4]). Het afkoelingseffect, dat slechts evenredig met i toeneemt, kan er geheel door worden overschaduwd, zodat er soms een temperatuurverhoging van 100 °C kan ontstaan. (Bij een emissie van ca 1 A/cm², d.i. in de buurt van de grens voor continue emissie van de oxydekathode, zijn de effecten ongeveer aan elkaar gelijk.)

Het zou verkeerd zijn dit verwarmingseffect als een verdere gunstige factor te willen boeken voor wat het thermische rendement van de oxydekathode betreft. Weliswaar heeft het verwarmingseffect tot gevolg dat men voor de gewenste temperatuur de oxydekathode op een nog kleiner gloeistroomvermogen kan (beter: moet) zetten. Dit betekent echter alleen dat een gedeelte van het vermogen voor de verhitting wordt betrokken uit de anodestroombron in plaats van uit de gloeistroombron, terwijl het totale vermogen onveranderd blijft. Men heeft dus van het verwarmingseffect generlei voordeel, doch zelfs een nadeel: het gedeelte van het vermogen dat de anodestroombron bijdraagt, hangt af van de weerstand van de oxydelaag en kan derhalve voor verschillende buizen iets verschillen, terwijl het bovendien varieert met de belasting van de buis, zodat men de kathodetemperatuur minder goed in de hand heeft dan bij verwarming uitsluitend door de gloeistroom.

In dit licht bezien, is de afwezigheid van het verwarmingseffect als een belangrijk voordeel van de L-kathode te beschouwen. Het — thans niet gecompenseerde — afkoelingseffect maakt weliswaar dat het practische thermische rendement nog lager wordt dan het theoretische, doch juist in die gevallen waar men naar een grote emissie moet streven en dus het afkoelingseffect merkbaar zal worden, zal het rendement van de kathode in het algemeen geen belangrijke factor zijn. Moeilijkheden met de dissipatie worden door het vereiste extra gloeistroomvermogen niet veroorzaakt, daar dit alleen tot een, procentueel zeer geringe, verhoging van de dissipatie op de anode leidt.

Andere eigenschappen van de L-kathode

Uiterlijk is de meest opvallende eigenschap van de L-kathode het gladde, metalen, emitterende oppervlak. De kathode is hierdoor mechanisch zeer robuust, kan tijdens het monteren niet worden beschadigd en er bestaat geen kans op losraken van deeltjes onder de invloed van electrostatische aantrekkingskrachten. Een belangrijk bezwaar van de oxydekathode, met haar mechanisch zwakke carbonaat- resp. oxydelaag, is daarmee vermeden. Ook kan bij de L-kathode, waarbij het electronen emitterende oppervlak wordt gedraaid of geperst, dit oppervlak gemakkelijk volkomen vlak en met nauwkeurig bekende afmetingen worden gemaakt. Toleranties van enkele microns kunnen hierbij worden aangehouden. Voor buizen waarin het ter beperking van de electronenlooptijden van belang is de afstand van de kathode tot andere electroden zeer klein te maken, bijv. enkele tientallen microns, zoals bij schijfdioden en -trioden, heeft men hierdoor zeer goede constructiemogelijkheden, betere zelfs dan met de meest fijnkorrelige oxydekathoden, aangezien de laatste zeer gevoelig zijn voor aanraking en dus slechts moeilijk met de vereiste precisie kunnen worden gemonteerd.

Er zij nog op gewezen dat bij de zojuist genoemde soort ultrakortegolf-buizen de grote emissie, die continu uit de L-kathode kan worden getrokken, een dubbel voordeel oplevert. Niet alleen kan hierdoor het kathode-oppervlak zeer klein worden gemaakt en krijgt men derhalve uiterst kleine buiscapaciteiten, hetgeen van belang is voor een goede kwaliteit der trillingskringen bij zeer hoge frequenties, maar bovendien correspondeert met een grote stroomdichtheid ook een grote stuurspanning, waardoor de looptijden der electronen verder worden verkort en de „looptijd-demping" dus vermindert. Ook het feit dat de L-kathode geen noemenswaardige dwarsweerstand bezit — in tegenstelling met de emitterende laag van de oxydekathode, zie hierboven [5]) —, komt voor het reduceren van de demping der kringen goed van pas,

[4]) Deze warmte-ontwikkeling, alsmede o.a. verschijnselen van electrolyse van de emitterende laag ten gevolge van de stroomdoorgang, zijn verantwoordelijk voor het verschil tussen de toelaatbare continue en pulsemissie van de oxydekathode; vgl. tabel I.

[5]) Vgl. ook: R. Loosjes en H. J. Vink, Het geleidingsvermogen van de oxydekathode, Philips techn. T. 11, 275-282, 1949 (No. 9).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

althans bij golflengten van de orde van 1 m (bij kortere golven wordt de weerstand van de oxydekathode weer minder schadelijk doordat de capacitieve component van de impedantie van de oxydelaag de weerstandscomponent overbrugt).

Zoals wel te verwachten was, blijkt de L-kathode volkomen bestand te zijn tegen het electronenbombardement dat in magnetrons en ook in reflectiebuizen [6]) in sterke mate optreedt. Ook in dit opzicht steekt de L-kathode zeer gunstig af bij de normale oxydekathode. In twee onderling analoge reflectiebuizen, werkende op een golflengte van 10 cm en met een continue belasting van de kathode tot ca 2 A/cm², leefde een oxydekathode niet langer dan ongeveer 100 uur, terwijl een L-kathode meer dan 1000 uur kon werken.

Bezitten de electronen, die bij magnetrons en reflectiebuizen op de kathode terugvallen, een voldoende snelheid, dan krijgt men bij de L-kathode een secundaire emissie, waarbij evenals bij de meeste metalen de verhouding tussen het aantal invallende primaire en het aantal uittredende secundaire electronen merkbaar groter is dan 1. Voor zover het van belang is gloeistroomvermogen te besparen of de electronenemissie nog verder op te voeren dan bij de L-kathode thermisch mogelijk is, kan men van deze eigenschap — die bij de oxydekathode voor magnetrons vrijwel een conditio sine qua non is — profijt trekken.

Wat betreft het gedrag van de L-kathode in een magnetron, kan op grond van voorlopige proeven reeds worden gezegd dat ook bij dit buistype goede resultaten kunnen worden verwacht. Het ligt in de bedoeling dat bij een latere gelegenheid door andere medewerkers van dit laboratorium nader op deze toepassing van de L-kathode zal worden ingegaan.

Het bezwaar van de oxydekathode dat er geringe hoeveelheden barium en strontium uit verdampen, vinden we bij de L-kathode eveneens, zoals aan het slot van dit artikel nog nader zal blijken. Ook wordt de L-kathode evenals de oxydekathode in zekere mate door zuurstof of zuurstofverbindingen (bijv. koolmonoxyde) in de buis vergiftigd; worden de vacuumcondities echter weer normaal, dan herstelt de electronenemissie zich bij de L-kathode sneller en gemakkelijker dan bij een oxydekathode. Deze eigenschap maakt dat de L-kathode in slecht te ontgassen buizen in het voordeel is. In nog hogere mate geldt dit voor het geval dat de kathode blootgesteld is aan een bombardement door snelle gasionen en aan overspringende vonken. Na een kortstondig bombardement herstelt de oxydekathode zich wel, maar bij langere duur van het bombardement kan de gehele emitterende laag door verstuiving verloren gaan, terwijl vonkontladingen gaten in de laag slaan. De L-kathode daarentegen kan ook vonken en een langdurig bombardement door gasionen verdragen. Wel is tijdens het bombardement de electronenemissie sterk verminderd, maar zodra de oorzaak van het bombardement is weggenomen, herstelt de emissie zich en er blijkt generlei blijvende schade te zijn aangericht. Dit is bijv. duidelijk gebleken bij bepaalde typen inhaalbuizen, waarin oxydekathoden, ondanks de niet zeer hoge belasting (0,8 A/cm²) na ongeveer 25 uren bezweken, terwijl een L-kathode enige duizenden uren kan worden gebruikt.

De grote mate van bedrijfszekerheid, die uit deze eigenschappen voortvloeit, kan speciaal van belang zijn voor de fabricage van zeer kostbare buizen (bijv. iconoscopen en supericonoscopen). Ook indien deze goed met een oxydekathode gemaakt kunnen worden, zal men er wellicht de voorkeur aan geven een L-kathode te gebruiken om hierdoor het risico van mislukken te verminderen.

Als laatste en zeer belangrijke eigenschap bespreken wij de levensduur in normaal bedrijf. Terwijl bij de oxydekathode de levensduur niet alleen afhangt van de temperatuur waarop zij wordt gebruikt, doch ook van de emissiestroom die wordt afgenomen, is het laatste bij de L-kathode gebleken niet het geval te zijn. Zoals te verwachten was, is de levensduur korter naarmate de temperatuur hoger is. Het temperatuurtraject echter waarbinnen men de kathode met een bruikbare emissie en redelijke levensduur kan laten werken, is bij de L-kathode zeer uitgestrekt, veel uitgestrekter dan bij de oxydekathode, nl. 900-1350 °C tegenover 700-900 °C. Wij vermelden nog enige nadere gegevens: bij 1000-1100 °C bedraagt de levensduur enige duizenden uren, bij 1250 °C enige honderden uren, en zelfs bij 1350 °C nog enkele tientallen uren. Voor een juiste appreciatie van deze cijfers bedenke men dat bij de genoemde temperaturen verzadigingsemissies behoren van respectievelijk ca 3, 100 en 250 A/cm². Dit zijn prestaties die door geen ander kathodetype worden geëvenaard.

Het mechanisme van de emissie

Het feit dat bij de L-kathode, evenals bij de oxydekathode, een mengsel van barium- en strontiumcarbonaat wordt toegepast, waaruit vervolgens het koolzuur, evenals bij de activering van de oxydekathode, wordt verdreven, zou de mening kunnen doen postvatten dat de L-kathode slechts als een

[6]) Zie bijv.: F. Coeterier, De multireflectie-buis, een nieuwe oscillatorbuis voor zeer korte golven, Philips techn. T. 8, 257-267, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gewijzigde vorm van de oxydekathode zou zijn te beschouwen. Dat dit niet zo is, maar dat veeleer van een nieuw type kathode moet worden gesproken, is gebleken uit een nader onderzoek van het mechanisme der emissie, waarop wij thans willen ingaan. Wij bespreken daartoe eerst in het kort de wetten waaraan elke electronen emitterende stof gehoorzaamt.

De afhankelijkheid der thermische electronenemissie van de temperatuur (d.i. dus de in fig. 3 voorgestelde functie) kan in het algemeen beschreven worden door de formule van Richardson:

$$J_s = AT^2 \exp(-e\varphi_0/kT).$$

Hierin is J_s de verzadigingsemissie in A/cm², T de absolute temperatuur, φ_0 de uittreepotentiaal bij het absolute nulpunt in volt, e de lading van het electron $= 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ coulomb, k de constante van Boltzmann $= 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ joule/graad, en A een constante van het emitterende oppervlak, uitgedrukt in A/cm² graad².

is (de waarden van A voor diverse materialen lopen niet zo sterk uiteen dat deze conclusie er ernstig door zou worden beïnvloed).

Hieruit blijkt, dat men de waarde van φ_0 van een kathodetype kan gebruiken om met één getal het gedrag van het type in grote trekken aan te geven. Het ligt dan voor de hand dat ook verschillen in het mechanisme van de emissie tot uitdrukking komen in verschillen in de waarde van φ_0.

Bij de wolfraamkathode heeft de emissie plaats uit het oppervlak van het zuivere metaal, waarvoor φ_0 de zeer hoge waarde van 4,5 V heeft. Bij de gethorieerde wolfraamkathode bevindt zich op het wolfraamoppervlak een eenatomige laag thorium. Door zulke eenatomige lagen wordt de hoge uittreepotentiaal van wolfraam sterk verlaagd; bij de gethorieerde wolfraamkathode bedraagt φ_0 ongeveer 2,7 V. Bij de oxydekathode heeft men niet met een emitterend metaal doch met een emitterende halfgeleider te maken. Het emissiemechanisme, dat hierbij vrij ingewikkeld is en dat we op

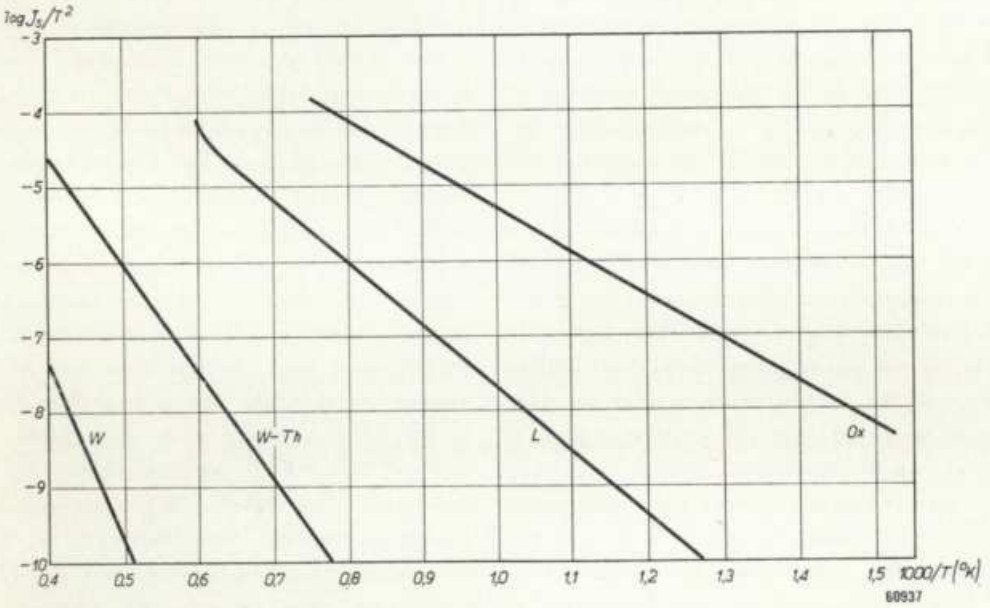


Fig. 5. Richardson-lijnen voor de L-kathode en drie andere kathodetypen.

Aangezien in het practisch voorkomende temperatuurgebied in alle gevallen $e\varphi_0 \gg kT$ is, zal het duidelijk zijn dat het verloop van J_s als functie van T vrijwel geheel door de exponentiële functie wordt bepaald. Dit houdt in, 1) dat J_s zeer sterk met de temperatuur varieert, en wel des te sterker naarmate φ_0 groter is; 2) dat voor verschillende materialen de grootte van J_s, bij gelijke temperatuur, vrijwel bepaald zal zijn door de grootte van φ_0, en wel zal J_s groter zijn naarmate φ_0 kleiner

deze plaats niet nader kunnen bespreken, resulteert in dit geval in een uitzonderlijk lage waarde, nl. 1,0 - 1,5 V, voor de uittreepotentiaal.

Heeft men voor een willekeurige kathode de emissie J_s voor een aantal temperaturen gemeten, dan kan men φ_0 gemakkelijk bepalen door $\log(J_s/T^2)$ uit te zetten tegen $1/T$. Volgens de formule van Richardson moeten de meetpunten op een rechte lijn liggen — hetgeen in het algemeen heel behoorlijk blijkt uit te komen —, en de helling van de lijn

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geeft, op een factor $k/(e \cdot \log e) = 1{,}98 \cdot 10^{-4}$ V/graad na, de waarde van φ_0 aan. In *fig. 5* zijn de Richardson-lijnen voor vier kathoden, nl. voor de hier besproken oudere typen en voor een L-kathode getekend, terwijl in *tabel II* de waarden van φ_0 (en van A), die uit dergelijke lijnen voor een reeks kathode-exemplaren werden afgeleid, voor de vier typen zijn bijeengebracht.

Tabel II.

Type kathode	φ_0 in volt	A in A/cm² graad²
Wolfraam	4,44-4,63	22 -210
Gethorieerd wolfraam	2,6 -2,9	3 - 15
Oxydekathode	1,0 -1,5	0,01- 5
L-kathode	1,6 -2,0	1 - 15

Hoewel de extreme waarden voor φ_0 van de L-kathode en de oxydekathode elkaar dicht naderen, is het verschil toch te groot om de beide typen als identiek te kunnen aanzien. Anders uitgedrukt: het is niet aannemelijk dat bij de L-kathode de emissie geschiedt uit een laag barium-strontium-oxyde. Anderzijds kan er wegens de relatief lage waarde van φ_0 ook geen sprake zijn van emissie uit het poreuze wolfraamoppervlak zelf.

Hoe moeten wij ons het emissiemechanisme van de L-kathode dan voorstellen?

Tijdens de allereerste verhitting in vacuo zal het barium-strontiumcarbonaat in het afgesloten kamertje worden ontleed:

$$Ba(Sr)CO_3 \rightarrow Ba(Sr)O + CO_2\uparrow .$$

Het koolzuur wordt weggepompt. Bij de daaropvolgende verhitting zal het bariumoxyde gedeeltelijk gereduceerd worden tot bariummetaal:

$$BaO + Me \rightleftarrows Ba\uparrow + MeO.$$

Met Me is een der omringende metalen bedoeld (eenvoudigheidshalve tweewaardig genomen). Het bariummetaal heeft bij de gebruikte temperaturen (900-1350 °C) een zeer grote dampspanning. Hierdoor zal het zich aan het reactie-evenwicht onttrekken en zal de reactie geleidelijk naar rechts aflopen, ondanks het feit dat de, vergeleken met andere metalen, grote vormingswarmte van BaO de reactie naar links dringt. Bij het verhitten van de kathode zal er dus in het afgesloten kamertje bariumdamp onder een zekere, zeer geringe, door de snelheid van de hierboven genoemde reactie bepaalde druk aanwezig zijn. Hetzelfde geldt voor het strontium [7]). Verder zal ook BaO-damp in merkbare mate aanwezig zijn, daar ook BaO bij deze temperaturen een niet te verwaarlozen dampspanning heeft; de dampspanning van SrO is verwaarloosbaar klein. Zie hiervoor *fig. 6.*

Het mengsel van Ba(Sr)- en BaO-damp begeeft zich door de poriën van het wolfraam naar buiten, en het zal zich in de poriën in een eenatomige laag op het wolfraam afzetten (een meeratomige laag zou door de hoge dampspanning weer verdampen, de eerste atoomlaag echter wordt door adsorptiekrachten vastgehouden). Het barium nu is in zulk een geadsorbeerde laag over het oppervlak bewegelijk [8]). Zo zal dus na enige tijd het gehele wolfraamoppervlak, in- en uitwendig, bedekt zijn met een éénatomige laag barium, gemengd met enige zuurstof. Deze laag heeft, evenals de thoriumlaag bij de gethorieerde wolfraamkathode, een sterke verlaging van de uittreepotentiaal ten gevolge, en daarmee is de grote electronenemissie van de L-kathode begrijpelijk gemaakt [9]).

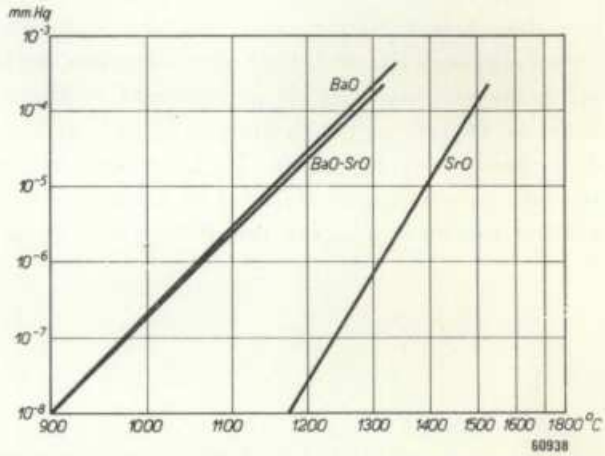


Fig. 6. Dampdruk van BaO, BaO-SrO en SrO als functie van de temperatuur. (Ontleend aan: A. Claassen en C. F. Veenemans, Z. Physik **80**, 342-351, 1933.) Het mengsel van BaO en SrO heeft een moleculaire verhouding 42,8:57,2. De damp van dit mengsel bevat geen aantoonbare hoeveelheid SrO.

[7]) Bij het verhitten wordt ook het strontiumoxyde gereduceerd tot strontium. Weliswaar bezit SrO een nog grotere vormingswarmte dan BaO, maar de dampspanning van Sr is groter dan die van Ba, zodat de reactie met SrO toch duidelijk merkbaar naar rechts gaat aflopen. — Wat precies de rol van het strontium bij het functionneren van de kathode kan zijn, is nog niet voldoende opgehelderd. Weglaten kan men het strontium niet, daar empirisch gebleken is dat de levensduur van de kathode dan aanzienlijk korter wordt.

[8]) Dit, alsmede de vorming van een laag als boven genoemd, is o.a. aangetoond door J. A. Becker, Trans. Far. Soc. **28**, 148-158, 1932, en J. A. Becker en G. E. Moore, Phil. Mag. **29**, 129-139, 1940.

[9]) De geadsorbeerde zuurstofatomen, die op zichzelf het uittreden van electronen uit het metaal belemmeren, hebben ook een gunstige werking daar zij, als negatieve centra, een sterkere binding van de geadsorbeerde bariumatomen op het oppervlak mogelijk maken. Deze gunstige werking overheerst zolang er niet teveel zuurstof aanwezig is. Vgl.: J. H. de Boer, Elektronenemission und Adsorptionserscheinungen, J. A. Barth, Leipzig 1937, pag. 113.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De hier ontwikkelde voorstelling wordt door een reeks experimentele feiten gestaafd. Zo is het bijv. gelukt rechtstreeks aan te tonen dat uit de L-kathode barium, bariumoxyde en strontium verdampen. In de poriën van een geactiveerde kathode vindt men een hoeveelheid barium die vrij goed overeenkomt met die welke nodig is voor de vorming van een aaneengesloten eenatomige laag. Een kathode waarin géén pastille van barium-strontium-carbonaat was aangebracht, kon geactiveerd worden door er van buiten af een eenatomige laag barium op te dampen (waarbij zeer waarschijnlijk ook wel sporen zuurstof op de kathode komen), en zij vertoonde dan een uittreepotentiaal $\varphi_0 = 1{,}7$ volt, dezelfde waarde die een normale L-kathode heeft! Brengt men echter op het metaaloppervlak een laagje bariumoxyde ter dikte van ongeveer 1 micron aan, dan is de emissie bij gelijke temperatuur groter en heeft men een φ_0 van 1,4 volt, in duidelijke afwijking van de normale L-kathode.

Hieruit blijkt wel zeer duidelijk dat de L-kathode niet op te vatten is als een soort oxydekathode, met een dun laagje bariumoxyde op een wolfraamonderlaag, doch dat de L-kathode veeleer een sterke gelijkenis vertoont met de gethorieerde wolfraamkathode. De rol van het thorium is bij de L-kathode door barium overgenomen. De boven beschreven speciale eigenschappen verkrijgt de L-kathode door het feit dat barium in een eenatomige laag de uittreepotentiaal van wolfraam sterker verlaagt dan thorium dit doet, en door de speciale bouw, waardoor de eenatomige laag automatisch voortdurend wordt ververst.

Samenvatting. Een nieuwe thermisch emitterende kathode, die in het Philips-laboratorium te Eindhoven is ontwikkeld en die als L-kathode wordt aangeduid, bevat een mengsel van barium- en strontiumoxyde, opgesloten achter een wand van poreus wolfraam. Op de bedrijfstemperatuur van de kathode (900-1350 °C) wordt het barium- en strontiumoxyde geleidelijk gereduceerd; ten gevolge van de vrij hoge dampdruk van Ba, Sr en BaO begeven zich deze stoffen door de poriën van de wand naar buiten en vormen hier een eenatomige laag van barium en strontium met wat zuurstof er tussen op het wolfraamoppervlak. Door deze laag wordt de uittreepotentiaal, die bij zuiver wolfraam 4,5 volt bedraagt, verlaagd tot 1,6 à 2,0 volt. Deze waarde is weliswaar nog niet zo klein als voor de oxydekathode (1,0 à 1,5 V), zodat de vereiste temperatuur hoger en het thermische rendement lager is dan bij de oxydekathode; de constructie brengt echtermee dat de L-kathode (zelfs bij de hogere temperatuur) veel beter tegen zware belastingen bestand is. De maximale bruikbare emissie bedraagt, bij een behoorlijke levensduur, enige honderden ampère/cm² (gemeten in pulserend bedrijf; de continue belastbaarheid is in principe dezelfde, doch de meting biedt hier moeilijkheden). Verder is de L-kathode uitstekend bestand tegen de electrostatische aantrekkingskrachten bij hoge spanningen, zij herstelt zich gemakkelijk na een eventuele vergiftiging door zuurstof of andere gassen en na een eventueel bombardement door snelle gasionen, en zij kan zonder bezwaar een bombardement door electronen verdragen, waarbij een aanzienlijke emissie van secundaire electronen optreedt. Door al deze eigenschappen is de L-kathode zeer geschikt voor allerlei moderne buizen voor het opwekken van ultrakorte golven, en in het algemeen voor buizen waarin van de kathode behalve een grote emissie ook een grote mechanische sterkte en een hoge mate van betrouwbaarheid wordt geëist.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DE FABRICAGE VAN KWARTS-OSCILLATORPLATEN

II. CONTROLE DER SNIJHOEKEN MET BEHULP VAN RÖNTGENDIFFRACTIE

door W. PARRISH *).

549.514.51:621.396.611.21:
537.531:535.4

De röntgendiffractie, reeds lang geregeld in gebruik als hulpmiddel bij onderzoekingen in wetenschappelijke en technische laboratoria, heeft tijdens de oorlog ook haar geschiktheid bewezen als hulpmiddel in een massafabricage. Zij werd ingevoerd in de industrie van kwarts-oscillatorplaten, voor het bepalen van de kristallografische orientering van sneden uit een kwartskristal. Het hiervoor ontwikkelde diffractie-apparaat maakt het voor ongeschoold personeel mogelijk, afwijkingen der kristallografische hoeken ten opzichte van de gewenste waarden in 10 à 15 seconden tijds op enkele boogminuten nauwkeurig te meten.

De toleranties van oscillatorplaatjes

Als inleiding tot dit tweede artikel over de fabricage van oscillatorplaatjes is het gewenst de kwestie van de toleranties in de orientering en in de afmetingen van deze plaatjes wat nader te beschouwen.

Wij hebben reeds vermeld [1]) dat de afwijkingen in de kristallografische hoeken ten opzichte van de voorgeschreven waarden voor een temperatuuronafhankelijke snede, bijv. een BT-snede, niet meer dan 10 boogminuten mogen bedragen, terwijl de dikte van zulk een plaatje aan een tolerantie van bijv. 10^{-5} mm gebonden is. Verder wordt veelal ook de lengte der zijden nauwkeurig voorgeschreven, waarbij de toleranties 0,03 mm of minder kunnen zijn.

Welke kristallografische hoeken hierboven bedoeld zijn, wordt voor het geval van de vierkante AT- en BT-plaatjes toegelicht door *fig. 1*. Deze figuur laat zien hoe deze beide sneden in een kwartskristal georienteerd zijn. Een ribbe, X', van het plaatje moet parallel zijn aan een X-as (electrische as) van het kristal, dus de hoek $XX' = 0$. De projectie, Z', van de Z-as (optische as) op het vlak van het plaatje moet met de Z-as een hoek ZZ' maken van 35°15′ bij de AT-snede en van —49°20′ bij de BT-snede. De tolerantie voor XX' is gewoonlijk iets groter dan voor ZZ'. Gedurende de oorlog was zij meestal 20′ voor XX' en 10′ voor ZZ'. Bij de AT-plaatjes die tegenwoordig worden vervaardigd, worden veelal nog kleinere toleranties opgegeven, bijv. 3 of 4′.

De tolerantie in de kristallografische hoeken wordt bepaald door de eisen die men stelt ten aanzien van het verloop der resonantiefrequentie als functie van de temperatuur. Het vlakke gedeelte in dit verloop, waarom het begonnen is, kan bij iets verkeerde orientering der snede naar een niet bedoeld en practisch niet voorkomend temperatuurgebied verschuiven of zelfs geheel verdwijnen. Men zie *fig. 2*. De tolerantie in de dikte hangt samen met de nauwkeurigheid waarmee de gewenste resonantiefrequentie moet worden gerealiseerd; bij de plaatjes volgens de AT- en BT-snede, waarbij de gewenste trillingsvorm een afschuiving in de diktedoorsnede behelst, is de frequentie omgekeerd evenredig met de dikte. De tolerantie in de lengte der zijden ten slotte wordt voorgeschreven door de eis dat koppelingen van de gewenste trilling met ongewenste andere trillingsvormen van

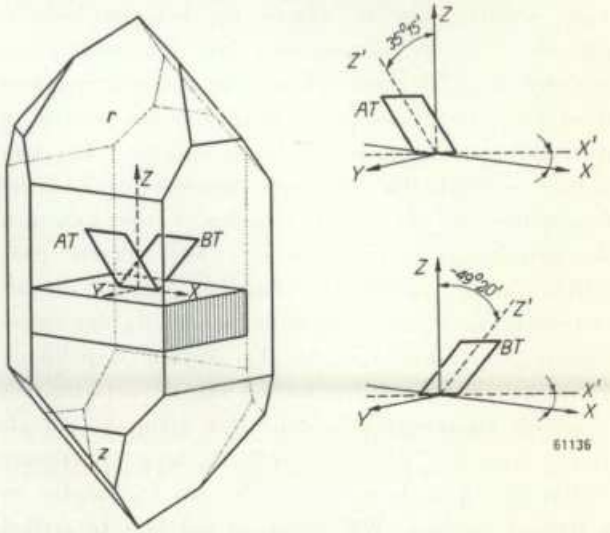


Fig. 1. Orientering van AT- en BT-snede in een ideaal kwartskristal (natuurlijke kristallen vertonen niet vaak al de gelijkmatig ontwikkelde begrenzingsvlakken die men hier ziet). Deze beide sneden, evenals de meeste andere temperatuuronafhankelijke sneden, staan loodrecht op een Y-Z-vlak, onder een hoek van 35°15′ resp. —49°20′ ten opzichte van de Z-as. Voor de BT-snede varieert de gewenste hoek, naar gelang van het temperatuurgebied waarin men het oscillatorplaatje wil gebruiken, tussen —49°0′ en —49°30′; wij baseren ons voor het vervolg op de eerder genoemde tussenwaarde.

*) Philips Laboratories, Inc., Irvington-on-Hudson, N.Y., U.S.A.

[1]) Zie W. Parrish, De fabricage van kwarts-oscillatorplaten, I. Het realiseren van de gewenste sneden, Philips techn. T. **11**, 326-336, 1949 (No. 11). Dit artikel wordt in het vervolg aangehaald als I.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het plaatje zoveel mogelijk moeten worden vermeden; bij AT- en BT-plaatjes heeft men de meeste last van hoge boventonen van een (een lage grondfrequentie bezittende) buigtrilling om een Y-as, welke schuin door het plaatje loopt.

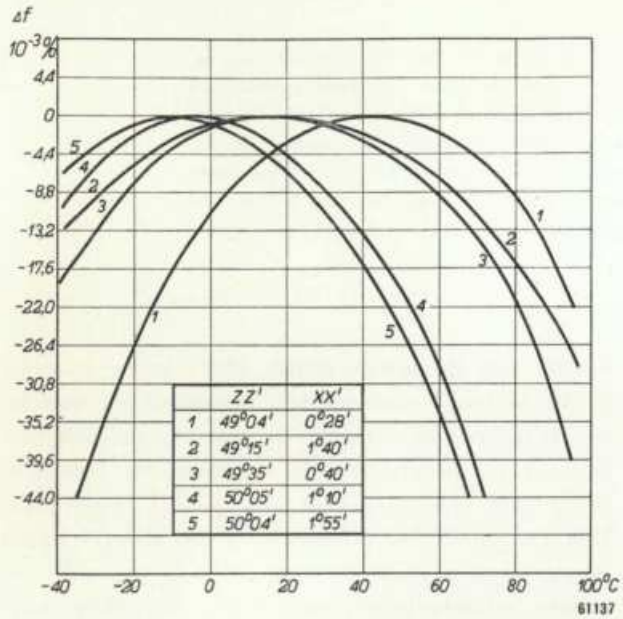


Fig. 2. Verloop van de resonantiefrequentie met de temperatuur, voor een reeks BT-sneden met een weinig verschillende kristallografische orientering. De ordinaatschaal geeft de relatieve afwijking der resonantiefrequentie van de maximale waarde in duizendste % aan. De maxima der curven liggen resp. bij 42, 18, 16, −2 en −10 °C. Behalve op de ligging van het maximum moet men ook letten op de steilheid der curve, als men een breed bruikbaar temperatuurgebied wil verkrijgen.

De contrôle of een plaatje binnen de toleranties valt, wordt, wat de dikte en lengte betreft, niet door directe meting van deze afmetingen uitgevoerd, doch indirect (of, zo men wil, nog directer) door onderzoek van het gedrag van het plaatje in de trillingskring van een buisoscillator. Men kan aldus gemakkelijk de mechanische resonantiefrequentie van het plaatje bepalen. Verder kan men de amplitude meten waarmee het plaatje gaat trillen, de zg. „activiteit" van het plaatje, die als criterium voor een voldoende beperking der ongewenste koppelingen dient. Te sterke koppelingen veroorzaken een vermindering van de activiteit in sommige frequentiegebieden. Het afslijpen (en afetsen) van het plaatje wordt zo lang voortgezet totdat dit aan de specificaties van frequentie en activiteit voldoet. Wij zullen in het laatste artikel van deze reeks gelegenheid hebben hierop nog nader in te gaan.

De evenredigheidsconstante in het genoemde verband tussen resonantiefrequentie en dikte (d.i. dus het product frequentie maal dikte) hangt sterk af van de orientering der snede in het kristal. Ook de dimensies, nodig voor het vermijden van koppelingen, worden door de orientering sterk beïnvloed. Bij het beschreven „indirecte", empirische procédé van afwerken der oscillatorplaatjes werd aan deze beide invloeden weinig aandacht geschonken. Toch is de laatstgenoemde invloed practisch van belang. Verscheidene fabrikanten streven er naar, het vermijden van koppelingen zo goed mogelijk te bewerkstelligen door aan de dimensies bepaalde, vooraf berekende, gunstige waarden te geven („predimensioning"). Deze optimale waarden variëren met de snijhoeken, zodat de methode alleen bij voldoend kleine toleranties voor de hoeken tot de gewenste resultaten kan leiden.

In de oorlog werd de methode van „predimensioning" niet op grote schaal in de productie toegepast. Activiteitsdalingen in het te bestrijken temperatuurgebied waren dan ook een der belangrijkste oorzaken waarom platen werden afgekeurd.

De contrôle en correctie der snijhoeken heeft men vroeger ook met een dergelijk „indirect" procédé uitgevoerd: men sleep een uitgesneden plaatje tot de gewenste resonantiefrequentie af, mat de frequentie als functie van de temperatuur en leidde uit de verkregen kromme zo goed en zo kwaad als het ging af, hoeveel de snijhoeken mis waren. Nog afgezien van de onmogelijkheid om aldus de vereiste correcties voor ZZ' en XX' te scheiden, was dit een tamelijk langdurig en omslachtig procédé. Weliswaar behoeft in een massafabricage de contrôle van de orientering niet voor elk plaatje afzonderlijk te worden uitgevoerd: men onderzoekt een proefplaatje, evenwijdig waaraan een hele serie plaatjes uit een kristal kunnen worden gesneden. Het gevolg van de geschetste werkwijze zou echter zijn dat de kwartszaag na het afsnijden van het proefplaatje geruime tijd stil zou moeten staan in afwachting van het slijpen en van de uitslag van het experiment.

Een economische massafabricage van oscillatorplaatjes, met de tegenwoordige uiterst strenge specificaties, is dan ook pas mogelijk geworden door de invoering van de methode der röntgendiffractie, waarmee de kristallografische hoeken, zoals XX' of ZZ', rechtstreeks, snel en zeer nauwkeurig kunnen worden gemeten. Met het apparaat dat voor dit doel door de North American Philips Co. is geconstrueerd, en dat in de Amerikaanse kwartsindustrie tijdens de oorlog op grote schaal is toegepast, kunnen de vereiste correcties voor een proefsnede door weinig geschoold personeel op enkele boogminuten nauwkeurig worden bepaald en neemt de meting slechts 10 à 15 seconden in beslag [2]).

[2]) W. Parrish en S. G. Gordon, Precise angular control of quartz-cutting by X-rays, Amer. Mineral. **30**, 326-346, 1945. Zie ook: W. L. Bond en E. J. Armstrong, Use of X-rays for determining the orientation of quartz crystals, Bell Syst. techn. J. **22**, 293-337, 1943; V. Petržilka en J. Beneš, A method for the determination of crystal cuts by applying the reflection of X-rays from a known lattice plane, Phil. Mag. (7) **37**, 399-410, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Principe van de hoekmeting door röntgendiffractie

Het verschijnsel van de röntgendiffractie aan een kristal kan worden beschreven als spiegeling van een röntgenbundel aan de roostervlakken, met dien verstande dat een merkbare reflectie aan een stelsel evenwijdige roostervlakken alleen optreedt als voldaan is aan de voorwaarde van Bragg (zie *fig. 3*):

$$\sin \Theta = \frac{n\lambda}{2d}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Hierin is d de onderlinge afstand der evenwijdige roostervlakken van het beschouwde stelsel, Θ de invals- en de uitvalshoek tussen röntgenbundel en roostervlak, λ de golflengte der röntgenstralen, n een geheel getal (orde van de reflectie).

Elk roostervlakkenstelsel in een kwartskristal sluit bepaalde hoeken in met de kristallografische assen (X, Y, Z-as), met de natuurlijke begrenzingsvlakken der kristallen (prismavlakken m, grote en kleine rhomboëdervlakken r resp. z, enz.) en derhalve ook met de diverse temperatuuronafhankelijke sneden en eventuele in de fabricage gebruikte hulpvlakken. Men kan nu de orientering van een afgesneden proefvlakje toetsen, door de hoek tussen dit vlakje en een geschikt gekozen roostervlak te meten. In principe kan men daarvoor een opstelling gebruiken als in *fig. 4* is geschetst.

Het afgesneden stukje of plaatje van het kwartsblok wordt met het snijvlak tegen het volkomen vlak geslepen instelvlak van een kristalhouder gedrukt. De houder heeft een opening, waardoor een

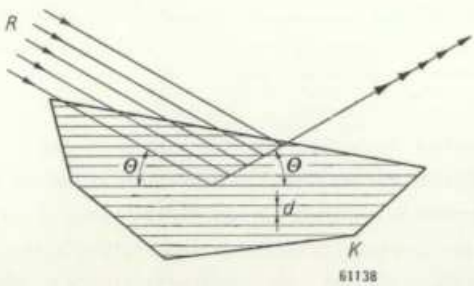


Fig. 3. Diffractie van een röntgenbundel R aan een kristal K. De bundel wordt gereflecteerd aan een stelsel evenwijdige roostervlakken, mits de onderlinge afstand d der vlakken, de hoek Θ tussen de bundel en het roostervlak, en de golflengte λ der röntgenstralen voldoen aan de voorwaarde van Bragg: $n\lambda = 2d \sin \Theta$.

gedeelte van het snijvlak bloot ligt. Hierop wordt een nauw bundeltje vrijwel monochromatische röntgenstralen geworpen, dat verkregen is uit de röntgenbuis B met de collimatorspleten S_1, S_2. De kristalhouder kan om de door P gaande verticale as worden gedraaid. De hoek α van het instelvlak ten opzichte van een bepaalde nulstand, die we voor deze beschouwing gemakshalve kunnen kiezen in het verlengde van de primaire röntgenstralenbundel, kan men op de goniometerschaal aflezen. Wil men nu een bepaald roostervlak met bekende orientatie, waarvan de vlakkenafstand d gegeven is, als vergelijkingsvlak gebruiken, dan draait men de

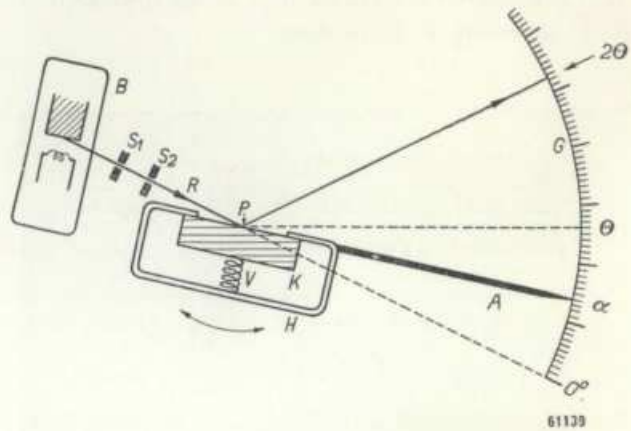


Fig. 4. Principe van de meting van kristallografische hoeken door röntgendiffractie. H kristalhouder met instelvlak, waartegen het snijvlak van het te onderzoeken, als proefsnede afgezaagde kristalblokje of -plaatje K wordt aangedrukt door de veer V. De houder is bevestigd aan een goniometerarm A en is draaibaar om een as die in het punt P loodrecht op het vlak van de tekening staat. B röntgenbuis, S_1, S_2 collimatorspleten, R röntgenbundel die in P op het te controleren snijvlak valt, G goniometerschaal.

kristalhouder totdat op het punt 2Θ van de goniometerschaal, dat men volgens (1) uit de bekende waarden van d en λ heeft berekend, een gereflecteerde röntgenbundel wordt waargenomen. Het verschil tussen de af te lezen stand α van de kristalhouder en de hoek Θ is, zoals men in fig. 4 direct ziet, de gevraagde hoek tussen het snijvlak en het vergelijkingsvlak (mits ook het vergelijkingsvlak loodrecht staat op het vlak van de tekening; op deze essentiële voorwaarde komen we later terug).

Het röntgendiffractie-apparaat

In de practische verwezenlijking van dit principe van meting vraagt de meeste aandacht de wijze waarop men de gereflecteerde röntgenbundel waarneemt. In het Philips-apparaat is hiervoor een Geigertelbuis toegepast, in een vorm die door Friedman is ontwikkeld [3]) en die in *fig. 5* is afgebeeld.

De spleet voor het intreevenster van de telbuis wordt op de gewenste plaats (2Θ) van de goniometerschaal gebracht en de buis blijft verder ge-

[3]) H. Friedman, F. K. Kaiser en A. L. Christenson, Applications of Geiger-Müller counters to inspection with X-rays and gamma rays, J. Amer. Soc. Naval Eng. **54**, 177-209, 1942; H. Friedman, Geiger counter tubes, Proc. Inst. Rad. Eng. **37**, 791-808, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

durende de meting in deze stand staan. De buis telt door stroomstoten de binnentredende röntgenquanta, en de röntgenintensiteit wordt rechtstreeks aangegeven door middel van een schakeling die de gemiddelde stroomsterkte in de telbuis meet. Op de telbuis behoeven we hier niet nader in te gaan, daar deze door Friedman [3]) en in dit tijdschrift [4]) reeds uitvoerig is besproken.

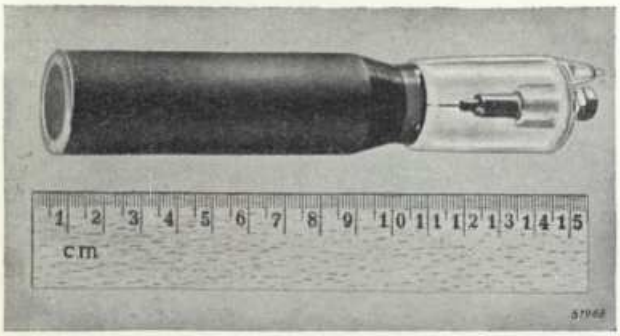


Fig. 5. Geigertelbuis, in een moderne vorm. De oorspronkelijk in het hier beschreven diffractie-apparaat gebruikte vorm was iets anders, doch het principe is hetzelfde: de aan te tonen röntgenbundel treedt van links komend door een dun venster van weinig absorberend materiaal (Lindemann-glas, tegenwoordig mica) en loopt iets bezijden een in de as uitgespannen anodedraad in de lengterichting door de buis. De fractie van de straling die in het argon, waarmee de buis gevuld is, wordt geabsorbeerd, hangt o.a. van de vuldruk af. Elk geabsorbeerd röntgenquantum geeft aanleiding tot een stroomstootje tussen de anodedraad en de omgevende kathodecylinder, die de buiswand vormt.

Deze indicatiemethode is essentieel geweest voor de goede resultaten die met het apparaat zijn verkregen. Het fotografisch aantonen van de diffractie (dat trouwens een andere meetopstelling zou hebben vereist) zou wegens het tijdverlies door het ontwikkelen van de film een ernstige stremming in het vlotte verloop van een massafabricage hebben meegebracht. De telbuis daarentegen wijst de op de ingangsspleet vallende röntgenstraling direct aan. Boven het fluorescentiescherm (dat men in een enkele fabriek als indicatiemiddel heeft toegepast) heeft de telbuis de voordelen dat zij veel gevoeliger is en gemakkelijker te hanteren, en dat men in een normaal verlichte ruimte kan werken. Ook de ionisatiekamer, die in andere apparaten als direct indicerend instrument is toegepast, legt het tegen de Geigerteller af als men op de gevoeligheid en het gemak van hanteren let.

De telbuis wordt in ons geval als zg. evenredige teller gebruikt. De versterkingsfactor van de telbuis is in een bepaald gebied van spanningen, het „plateau", in hoge mate onafhankelijk van de aangelegde spanning tussen anodedraad en kathodecylinder. In een lager spanningsgebied echter is de stroomstoot die één geabsorbeerd röntgenquantum veroorzaakt, veel kleiner en neemt hij in sterkte evenredig met deze spanning toe; men kan derhalve de sterkte van de verkregen gemiddelde stroom door de telbuis eenvoudig regelen door de voedingsspanning te veranderen. Dit is voor ons geval practisch, omdat men bij gebruik van verschillende vergelijkingsroostervlakken zeer uiteenlopende gereflecteerde intensiteiten zal krijgen, en dan door variatie van de voedingsspanning toch gemakkelijk altijd tot eenzelfde gunstige meteruitslag kan komen. Bij opeenvolgende metingen aan eenzelfde type snede, met eenzelfde vergelijkingsroostervlak, behoeft men de spanning niet te veranderen.

Deze werkwijze is hier mogelijk doordat een eenkristal zeer intensieve reflecties oplevert en men derhalve niet de maximale versterkingsfactor van de telbuis, die op het „plateau" verkregen wordt, nodig heeft. (Strikt genomen, is alleen bij gebruik van de telbuis op het „plateau" de aanduiding als „Geigerteller" historisch gerechtvaardigd.) Bovendien gaat het hier slechts om het aantonen van één bepaalde diffractiestip. Voor het in [4]) beschreven apparaat, waarmee intensiteiten van een reeks, veel zwakkere, diffractielijnen van poederpraeparaten moeten kunnen worden vergeleken, is het niet alleen van belang de versterkingsfactor van de telbuis zo groot mogelijk te maken, maar ook, deze zo goed mogelijk constant te houden. Men werkt daar dus op het „plateau".

Terloops zij opgemerkt dat de evenredige teller een veel kortere hersteltijd nodig heeft dan de eigenlijke Geigerteller. Daardoor kunnen afzonderlijke quanta nog bij veel grotere telsnelheden worden aangetoond, hetgeen betekent dat de aanwijzing van de evenredige teller tot veel grotere röntgenintensiteiten lineair is dan die van de Geigerteller.

De spleet vóór het venster van de telbuis, waardoor de röntgenstralen kunnen binnentreden, is vrij wijd gemaakt, zodat de instelling van de telbuis langs de goniometerschaal niet critisch is. Dit is belangrijk, omdat de diffractiestippen die de kwartskristallen leveren heel scherp zijn (vergeleken met de diffractielijnen van poeders) en dus de bedienende persoon bij iets verkeerde plaatsing van een nauwe spleet kans zou lopen de kristalhouder aan de juiste positie voorbij te draaien zonder enige reflectie op te merken. Natuurlijk mag de spleet niet zo wijd zijn dat hij in sommige standen twee naburige diffractiestippen tegelijk zou omvatten en daardoor aanleiding zou geven tot vergissingen ten aanzien van het reflecterende roostervlak. Doch een spleetbreedte van bijv. $^1/_4{}^\circ$, langs de goniometerschaal gemeten, is voor de in

[4]) J. Bleeksma, G. Kloos en H. J. Di Giovanni, Een röntgendiffractie-apparaat met Geigerteller, Philips techn. T. **10**, 1-13, 1948 (No. 1). Het aldaar beschreven, algemeen bruikbare, diffractie-apparaat is voortgekomen uit het speciaal voor de kwartsfabricage ontwikkelde toestel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

deze toepassing normaal gebruikte roostervlakken heel goed toelaatbaar, zoals men uit het in *fig. 6* weergegeven diffractiespectrum van kwarts kan zien.

Het apparaat is voorzien van een met lucht gekoelde röntgenbuis van gering vermogen, nl. voor 3 à 4 mA bij een spanning van 35 kV. Dit geringe vermogen is voldoende, aangezien de intensiteiten der diffractiestippen van eenkristal-platen zoveel groter zijn dan die der diffractielijnen van een polykristallijn praeparaat. Bovendien is de telbuis een buitengewoon gevoelige indicator, veel gevoeliger dan de verzwakt om niet te worden waargenomen.

De opening van de kristalhouder moet groot genoeg zijn opdat de metalen randen niet door de primaire röntgenbundel worden geraakt, anders zou aan de randen verstrooide röntgenstraling een storende achtergrondintensiteit in alle standen van de telbuis veroorzaken. Verder is het van belang dat het instelvlak, waartegen bij een goed lopende fabricage dagelijks ettelijke honderden keren een blokje van het uiterst harde kwarts wordt gelegd, hierdoor niet geleidelijk afgeslepen wordt en zijn vlakheid resp. zijn nauwkeurige instelling ten op-

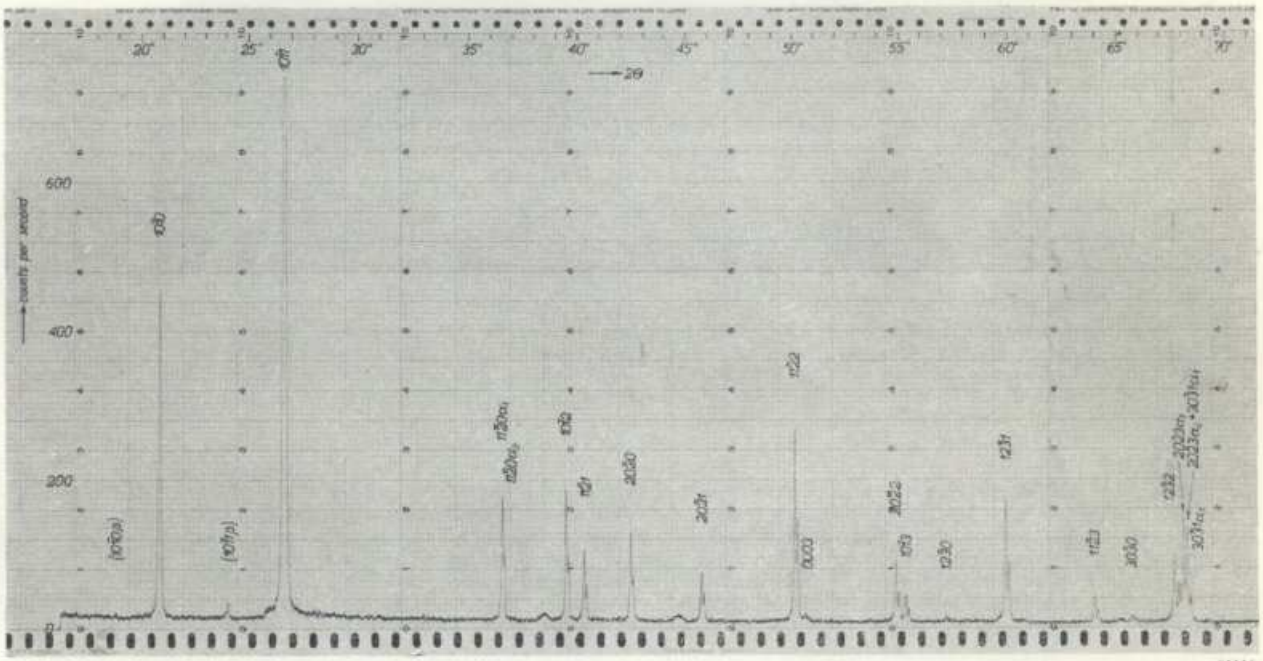


Fig. 6. Röntgendiffractiespectrum (gedeelte met „voorwaartse" reflectie) van een praeparaat van poedervormig kwarts, opgenomen met een röntgendiffractie-apparaat met Geigerteller [5]) (verbeterde vorm van het eerder in dit tijdschrift beschreven instrument [4])). De diffractiestippen die een plaat van een kwarts-eenkristal levert, zijn zelfs nog scherper dan de hier geregistreerde diffractielijnen van het polykristallijne praeparaat. Het spectrum is automatisch geregistreerd, met een snelheid van $^1/_4{}^\circ$ in 2Θ per minuut. Gebruikt werd een röntgenbuis met koperanode, gevoed met dubbelzijdig gelijkgerichte spanning van 40 kV_{max}, bij 20 mA, en met een nikkelfilter. Straal van de goniometer 170 mm, openingshoek van de primaire bundel 1° en breedte van de intreespleet van de telbuis 0,08 mm.

gewoonlijk in het diffractie-onderzoek gebruikte fotografische film, zodat men met een betrekkelijk geringe intensiteit van de primaire röntgenstralenbundel kan volstaan. De röntgenbuis heeft een anode van koper, die de karakteristieke koperstraling levert, waarvan de Kα-lijnen voor de meting worden gebruikt: Kα_1 = 1,54050 Å, Kα_2 = 1,54434 Å; Kα (gewogen gemiddelde) = 1,5418 Å. De CuKβ-straling, welke diffractiestippen bij iets afwijkende hoeken geeft, wordt door een nikkelfilter voor het uittreevenster van de röntgenbuis voldoende

[5]) W. Parrish, X-ray powder diffraction analysis: film and Geiger counter techniques, Science **110**, 368-371, 1949.

zichte van de goniometerarm inboet. De houder wordt daarom van het hardste beschikbare gereedschapstaal of van boriumcarbide gemaakt, en het instelvlak wordt geregeld gecontroleerd.

De goniometerschaal veroorlooft rechtstreekse aflezing van hele graden, terwijl op een fijn-instelknop, die de arm van de kristalhouder aandrijft, een indeling in boogminuten is aangebracht. Om het telkens subtraheren van de hoek Θ voor een bepaald vergelijkingsroostervlak te vermijden, heeft de goniometer een tweede, verschuifbare schaal, waarvan men het nulpunt bij de hoek Θ of in een andere uitgangsstand kan plaatsen; dit doet men

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

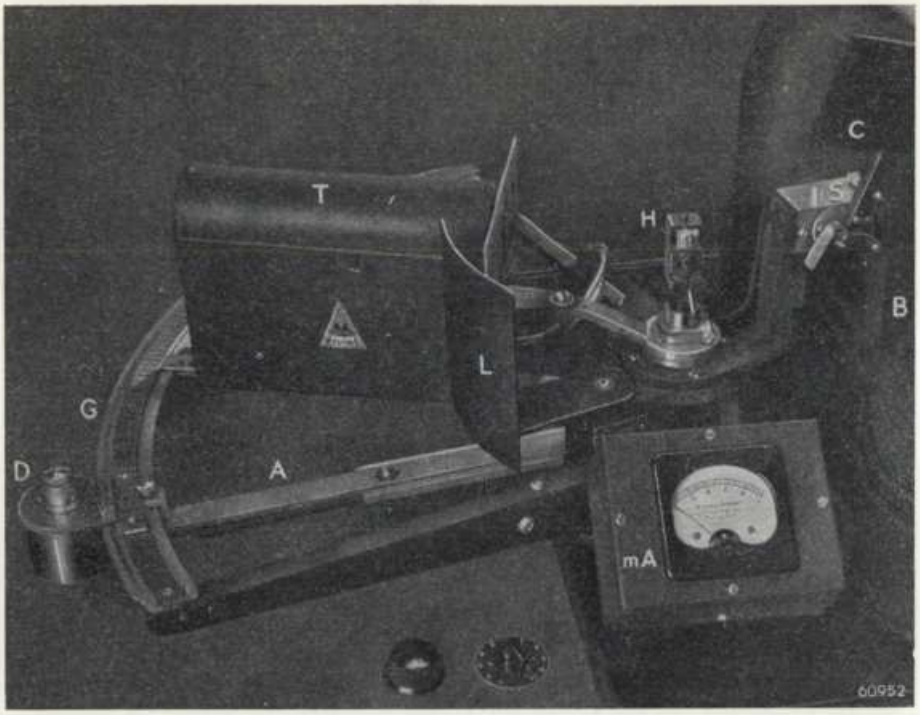


Fig. 7. Meettafel van het röntgendiffractie-apparaat. Rechts de röntgenbuis *B* met spleten *S* en met een opklapbaar deksel voor de uittree-opening der röntgenstralen. Als men dit deksel opklapt, klapt er tevens een schermpje *C* voor de kristalhouder neer, zodat de bedienende persoon niet met zijn handen in de röntgenbundel kan komen. Links de goniometer *G*, waarlangs de Geigertelbuis *T* en de goniometerarm *A* die de kristalhouder *H* draagt, kunnen worden verschoven. De telbuis blijft hierbij steeds radiaal gericht, daar zij op een arm is bevestigd die om dezelfde as (*P* in fig. 4) draait als de goniometerarm. De in het midden zichtbare kristalhouder is bedoeld voor het inzetten van afzonderlijke oscillatorplaatjes; voor *Y*-*Z*-proefsneden of voor proefplaten uit een *X*-blok enz. gebruikt men andere houders. Het niet afgebogen gedeelte van de primaire stralenbundel wordt door een loden plaatje *L* achter de kristalhouder geabsorbeerd. Op de goniometerschaal ziet men een korte, verschuifbare hulpschaal, waarvan de stand met een standaardkristal wordt ingesteld, voor het direct aflezen van de gewenste correctiehoeken. Aan het einde van de goniometerarm de knop *D* voor de fijne instelling, met een schaalverdeling in boogminuten. Vooraan de milliampèremeter *mA* voor het aflezen van de gemiddelde stroom die door de telbuis vloeit. (De opstelling is hier het spiegelbeeld van die in fig. 4.)

het best empirisch, door een standaardkristal, dat volgens het gewenste vergelijkingsroostervlak is afgeslepen, in het toestel te zetten. De minutenaanwijzing van de instelknop kan men, door deze knop tijdelijk los te koppelen van het aandrijvende tandwieltje, in de gewenste stand op 0′ zetten. De kristalhouder kan eveneens worden losgekoppeld en in elke stand ten opzichte van de goniometerarm worden gedraaid en gefixeerd, zodat men op elk gewenst gedeelte van de goniometerschaal kan meten.

Een foto van de gehele opstelling, omvattend de röntgenbuis, de collimatorspleten en een afsluiter voor de röntgenbundel, de kristalhouder, de telbuis, een opvangplaat voor de primaire bundel, de goniometer, het instrument waarop men de röntgenintensiteit afleest, en regelknoppen voor de voedingsspanning van de telbuis, is in *fig. 7* weergegeven. De röntgenbuis heeft twee uittreevensters, aan de andere zijde van de buis kan derhalve nog een tweede complete meetopstelling worden aangebracht. Het volledige apparaat is in *fig. 8* afgebeeld.

Fig. 8. Het volledige röntgendiffractie-toestel van de North American Philips Co. voor de kwartsfabricage. Het toestel is voorzien van twee onafhankelijke meettafels, die men hier rechts en links naast de röntgenbuis ziet aangebracht. Onder elke meettafel bevindt zich de voedingsapparatuur van de Geigertelbuis, in de middelste kast de voedings- en regelapparatuur voor de röntgenbuis.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In de laatste tijd zijn er aan het instrument enige verfijningen aangebracht, die de nauwkeurigheid aanmerkelijk hebben vergroot. De breedte van de diffractiestip, en daarmee de nauwkeurigheid van de hoekmeting, is bij een vrijwel volmaakt kristalrooster als dat van kwarts bepaald door de breedte van de spleet S_1 (fig. 4) en de divergentie van de op het kristaloppervlak vallende röntgenstralenbundel. Bij de beschreven opstelling was de spleetbreedte 0,39 mm en de divergentie 0,9°. Bij de verbeterde opstelling gebruiken wij een röntgenbuis met een focus van zo kleine afmetingen dat dit zèlf de functie van de spleet S_1 kan overnemen; het focus is 3 mm breed en er wordt een bundel gebruikt die uittreedt onder een hoek van $^1/_4$° met het anode-oppervlak, zodat de geprojecteerde breedte slechts 0,04 mm bedraagt. De divergentie is teruggebracht tot minder dan 1′.

Dank zij deze wijzigingen kan men een hoekmeting thans uitvoeren tot op 0,002° à 0,003° nauwkeurig, d.i. dus tot op ongeveer 10 boogsecunden. Om ook de aflezing zo nauwkeurig te maken, is de knop voor de fijne instelling voorzien van een nonius.

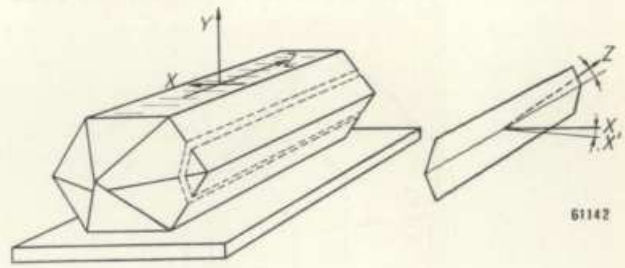
Voor de fabricage van kwartsplaatjes is deze grote nauwkeurigheid niet nodig. Zij maakt het echter mogelijk, het toestel thans ook te gebruiken voor het onderzoek naar de graad van volmaaktheid van kristaloppervlakken, bijv. na slijpen, of voor soortgelijke problemen.

Uitvoering van de metingen

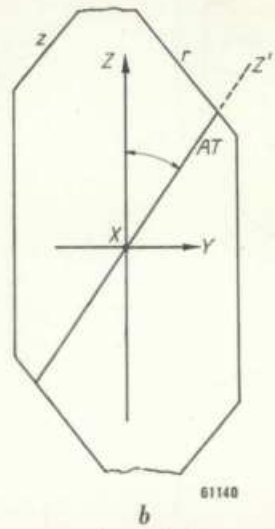
In het artikel I hebben we gezien dat het bereiken van de gewenste temperatuuronafhankelijke snede in een kwartsblok niet in een enkele operatie doch in verscheidene stappen geschiedt. We recapituleren in het kort, op welke wijze bij de als voorbeeld beschouwde X-blok-methode de hoekmeting met röntgendiffractie te pas komt.

Volgens de X-blok-methode snijdt men van het kwartsblok eerst een vlakje af dat loodrecht behoort te staan op een X-as (Y-Z-vlak). Daartoe legt men het blok met een der prismavlakken op de horizontale zaagtafel (zodat dus een X-as horizontaal staat) en zaagt men zo goed mogelijk evenwijdig aan de Z-as een vlakje; zie *fig. 9a*. Een afwijking van de evenwijdigheid aan Z brengt mee dat de normaal van het snijvlak een horizontale afwijking ten opzichte van de X-as vertoont, en deze afwijking vindt men later als hoek XX' bij alle uit dit X-blok verkregen oscillatorplaatjes. Men moet dus hier reeds de snijrichting nauwkeurig meten en op grond van de meetuitkomst corrigeren.

Vervolgens legt men het kwartsblok met het gesneden Y-Z-vlak op de zaagtafel (X-as verticaal) en draait deze totdat het zaagblad de gewenste hoek met de, horizontaal gelegen, Z-as van het kwartsblok maakt (fig. 9*b*); hiertoe is een graadindeling aan de tafel aangebracht. De onnauwkeurigheid van deze hoekinstelling zou, als we het blok nu in evenwijdige platen snijden, in alle oscillatorplaatjes als fout in de hoek ZZ' optreden. Ook hier moet dus een proefvlakje worden afgesneden, de bewuste hoek met de vereiste nauwkeurigheid gemeten en de instelling onder de zaag zo nodig gecorrigeerd.



a



b

Fig. 9. *a*) Het afsnijden van een Y-Z-vlak, om van een ruw kwartskristal een X-blok te maken. Een prismavlak (X-Z-vlak) van het kristal ligt op de zaagtafel, dus een X-as staat horizontaal. De Z-as moet parallel aan het zaagblad georienteerd worden. Een onnauwkeurigheid in deze orientering geeft aanleiding tot een afwijking XX' van de uit het blok te snijden oscillatorplaatjes.

b) Loodrecht op het Y-Z-vlak, dat hier in het vlak van tekening ligt, worden de AT- en BT-platen uit het X-blok gezaagd, waarbij de, horizontaal gelegen, Z-as onder de voorgeschreven hoek met het zaagblad moet zijn georienteerd. Een onnauwkeurigheid hierin veroorzaakt afwijkingen van de hoek ZZ' der oscillatorplaatjes.

Contrôle van een Y-Z-vlak

Het Y-Z-vlak, dat in de X-blok-methode als eerste te realiseren snijvlak optreedt, is zelf een roostervlak van het kristal, nl. het 11$\bar{2}$0-vlak; vgl. *fig. 10*. De situatie bij het meten is voor dit geval relatief eenvoudig te overzien. Aan de vlakkenafstand van het 11$\bar{2}$0-vlak beantwoordt een hoek $2\Theta = 36°34'$, dus bij deze hoek op de goniometerschaal zet men de telbuis. Bij het optreden van reflectie (nauwkeuriger: bij het optreden van maximale reflectie) weet men dat het reflecterende 11$\bar{2}$0-vlak, hoè men het kristal ook moge hebben afgesneden, altijd naar het punt $\Theta = 18°17'$ op de schaal wijst. Is het gesneden vlak precies een 11$\bar{2}$0-vlak, dan zal de goniometerarm, die de kristalhouder draagt, bij de hoek $\alpha = \Theta$ blijken te staan, en wel onafhankelijk van een eventuele draaiing van het afgesneden kristalstuk in de houder (met het snijvlak steeds tegen het, verticale, instelvlak).

Wijkt het snijvlak een kleine hoek ε af van het 11$\bar{2}$0-vlak, dan vindt men een hoek α die in het algemeen niet gelijk is aan Θ (afwijking $\Delta\alpha$), en die bovendien varieert bij draaiing van het kristal in

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de houder. Immers, bij zulk een draaiing beschrijft de normaal van het reflecterende 11$\bar{2}$0-vlak een kegeltje met halve openingshoek ε rondom de, horizontaal gerichte, normaal van het snijvlak (instelvlak). Voor de bovenste en onderste standen

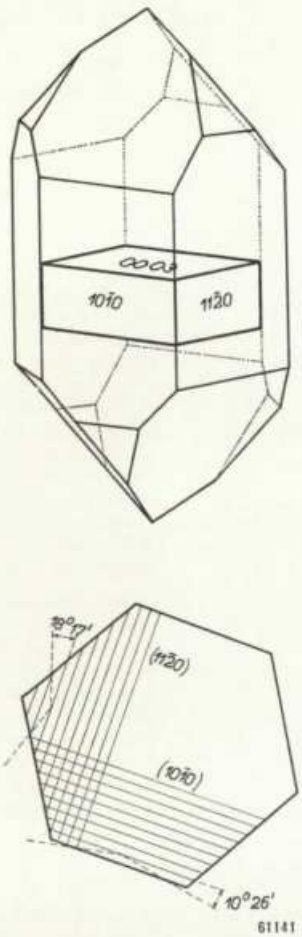


Fig. 10. Ligging der 10$\bar{1}$0-, 11$\bar{2}$0- en 0003-vlakken in een kwartskristal; deze roostervlakken zijn respectievelijk identiek met een X-Z-vlak (prismavlak), Y-Z-vlak en X-Y-vlak. In de doorsnede is gestippeld voor elk roostervlakkenstelsel de in- en uitvalsrichting van röntgenstralen bij reflectie aangegeven.

der normaal vindt men $\Delta\alpha = 0$ (tenzij ε zo groot is dat men in deze standen in het geheel geen gereflecteerde intensiteit in het goniometervlak waarneemt en dus niet meten kan); voor de meest rechtse en linkse, horizontale, standen der normaal (waarbij dus het als vergelijkingsvlak dienende 11$\bar{2}$0-vlak verticaal staat) vindt men $\Delta\alpha = +\varepsilon$ resp. $-\varepsilon$; zie *fig. 11*.

Men zal nu gemakkelijk inzien dat de af te lezen hoek $\Delta\alpha$ alleen dan gelijk is aan de vereiste horizontale correctiehoek (waarover het kristalblok op de zaagtafel moet worden gedraaid), indien de proefsnede in dezelfde stand wordt geplaatst in de kristalhouder als zij had op de zaagtafel. Daartoe tekent men op het buitenvlak van het proefstukje, alvorens men dit van de zaagtafel afhaalt, een opwaarts gerichte verticale pijl. Bij het plaatsen van het proefstukje in de kristalhouder zorgt men dat de pijl wederom verticaal en naar boven gericht komt te staan. Nu is ook het teken van de nodige correctie eenvoudig vast te leggen: moet de goniometerarm uit de stand Θ kloksgewijze worden gedraaid om het 11$\bar{2}$0-vergelijkingsvlak van het proefstuk in reflectiestand te brengen, dan moet ook het kristalblok op de zaagtafel kloksgewijze worden gedraaid om het 11$\bar{2}$0-vlak parallel aan het zaagblad te maken.

Men verifieert gemakkelijk dat de aldus uitgedrukte correlatie geldig is zowel voor de rechter als voor de linker goniometer in fig. 8, welker beider schalen elkaars spiegelbeeld zijn.

Stond bij het zagen van een kristal ter verkrijging van een X-blok het zaagblad niet precies loodrecht op de zaagtafel, dan zal de normaal van het snijvlak in verticale richting afwijken van de X-as. Deze verticale afwijking kan men op precies dezelfde wijze als boven beschreven meten, alleen met dit verschil dat de verticale op het proefstukje getekende pijl thans in het meetapparaat horizontaal moet worden gezet. Voor de richting van de nodige correctie kan men ook hier weer een eenvoudige correlatieregel toepassen, mits men er op let of het proefstukje van de rechter- dan wel van de linkerzijde van het kristal werd afgezaagd.

Zulke eenvoudige correlatieregels, die voor alle soorten proefsneden gelden, zijn voor een massafabricage, waarbij zowel de zaag als het meetapparaat door betrekkelijk weinig geschoold personeel moeten worden bediend, van groot belang.

Contrôle van AT- en BT-snede

Terwijl in de vorige paragraaf het gewenste snijvlak samenviel met een roostervlak, is dit bij de uiteindelijk gewenste temperatuuronafhankelijke sneden niet het geval. Bij het controleren van de ZZ'-hoek van een AT- of BT-proefplaat, afgesneden van een X-blok, moet dus eerst een keuze

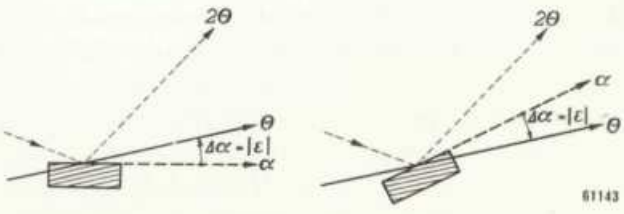


Fig. 11. Een röntgenreflectie wordt waargenomen indien het vergelijkingsroostervlak zich in de stand Θ bevindt. Als het snijvlak van het kristalstukje niet met het vergelijkingsroostervlak samenvalt, betekent dit dat het snijvlak (instelvlak van de kristalhouder) zich bij reflectie in een stand α bevindt, waarbij α een bedrag $\Delta\alpha$ van Θ afwijkt. De afwijking $\Delta\alpha$ varieert als men het kristal in de houder draait; de maximale waarde van $\Delta\alpha$, die men in twee tegengestelde standen van het kristal verkrijgt, is gelijk aan de hoek ε tussen snijvlak en roostervlak.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gemaakt worden, welk roostervlak we als vergelijkingsvlak willen gebruiken.

Voor AT-proefsneden kiest men als vergelijkingsvlak het 0111-vlak (kleine rhomboëdervlak, z). Dit vlak staat, evenals de AT-snede en de meeste andere temperatuuronafhankelijke sneden, loodrecht op het Y-Z-vlak (zie *fig. 12*) en het sluit

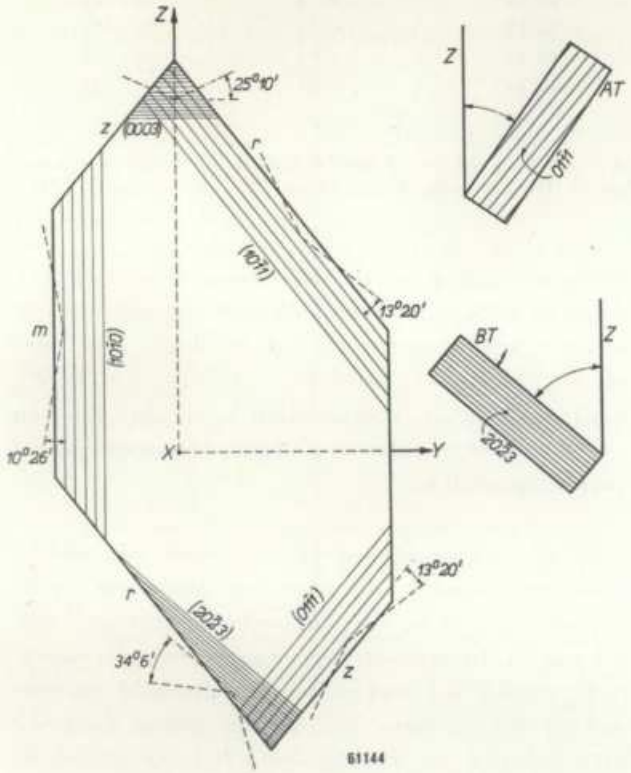


Fig. 12. Ligging in het kwartskristal van een aantal roostervlakken die alle loodrecht staan op een Y-Z-vlak. Het 1011-vlak is het grote rhomboëdervlak, het 0111-vlak het kleine rhomboëdervlak. Het laatste is zeer geschikt als vergelijkingsvlak voor AT-sneden. Voor BT-sneden gebruikt men als vergelijkingsvlak meestal het 2023-vlak, dat bijna evenwijdig aan de BT-snede is.

met de Z-as de hoek $+38°13'$ in. De ideale AT-snede, die een hoek $ZZ' = 35°15'$ heeft, wijkt dus een hoek $\gamma = 2°58'$ van het vergelijkingsvlak af. Dat deze afwijking zo gering is, is voor de practische metingen zeer belangrijk. De voornaamste voordelen zijn, dat ook tamelijk grote fouten van het snijvlak nog voor meting toegankelijk worden, en dat de nauwkeurigheid waarmee de nodige correctie bepaald kan worden groot is.

Om dit in te zien, denke men evenals in de vorige paragraaf de proefsnede in de kristalhouder in allerlei standen gedraaid, met het snijvlak steeds tegen het instelvlak en met de telbuis permanent geplaatst in de stand 2Θ behorende bij de reflectie door het gekozen vergelijkingsvlak. De normaal van dit reflecterende vlak beschrijft weer een kegeltje, doch nu met de halve openingshoek $|\gamma - \varepsilon|$, als ε de fout in ZZ' van de proefsnede is. De voor reflectie nodige stand α van de goniometerarm varieert daarbij rondom de theoretische hoek Θ, tot een bedrag gelegen tussen de maximale waarden $+ |\gamma - \varepsilon|$ en $- |\gamma - \varepsilon|$. Ten einde de juiste waarde $|\gamma - \varepsilon|$ te meten, moet men weer gebruik maken van een pijl om bij het overbrengen van de proefplaat van de zaagtafel naar de kristalhouder dezelfde orientatie van de proefplaat aan te houden. Door de pijl in de houder en onder de zaag in dezelfde richting te laten wijzen, kan men ook de eenvoudige correlatieregel voor de richting van de gevraagde correctie toepassen [6]). Aangezien echter thans de halve openingshoek, $|\gamma - \varepsilon|$, van het kegeltje veel groter kan zijn dan die waarmee we in de vorige paragraaf te maken hadden (nl. vrijwel gelijk aan γ, als ε klein is), hebben geringe onnauwkeurigheden in de stand van de pijl bij de meting hier grotere consequenties en kunnen zij merkbare fouten in de afgeleide correctie veroorzaken, merkbaarder naarmate γ groter is. Bovendien wijkt, als γ groot is, reeds bij een weinig scheefstaande pijl de normaal van het vergelijkingsvlak zover van de horizontaal af dat men geen reflectie meer in het, horizontale, goniometervlak waarneemt en dus niet meten kan.

Hieruit volgt dat het van belang is een kleine γ te hebben, dus een vergelijkingsroostervlak te kiezen dat zo goed mogelijk parallel aan de te controleren snede is. Voor BT-sneden is het 2023-vlak uitstekend geschikt, aangezien dit een hoek $ZZ' = -49°44'$ heeft; γ is dus slechts $0°24'$. Enkele andere vergelijkingsroostervlakken, die voor verschillende typen sneden worden gebruikt, zijn in *tabel I* vermeld.

In eerste instantie levert de boven beschreven röntgenmeting slechts de hoek $|\gamma - \varepsilon|$, d.i. de grootte en, door toepassing van de correlatieregel, de richting van de correctie $\Delta\alpha$ die men op de stand van de proefsnede onder de zaag zou moeten toepassen om ze te doen samenvallen met het vergelijkingsroostervlak. Om nu de proefsnede te kunnen doen samenvallen met de ideale AT-snede, moeten we de hoek ε berekenen. Dit is uit de verkregen

[6]) Vandaar de in artikel I vermelde maatregel dat op de proefplaten de lijn van de X-as, die bij het zagen verticaal staat, wordt aangegeven, en ook de richting van de Z-as, door een pijlpuntje. De lijn van de X-as zet men in de kristalhouder verticaal, terwijl het pijlpuntje voor Z naar rechts resp. naar links moet wijzen opdat men de juiste correlatie krijgt. (De afzonderlijke ruwe oscillatorplaatjes worden op dezelfde wijze gemerkt, om deze desgewenst vóór het slijpen nog eens definitief op hun orientering te onderzoeken.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel I. Gegevens voor de contrôle van diverse sneden.

Snede	ZZ' van snede	Vergelijkings-roostervlak	ZZ' van vergelijkings-roostervlak	Hoek γ	Plaatsing van telbuis (2Θ) met CuKα *)
X-Z-vlak	0°	10$\bar{1}$0	0°	0°	20° 52½′
Y-Z-vlak	0°	11$\bar{2}$0	0°	0°	36° 34¾′
AT	+35°15′	01$\bar{1}$1	+38°13′	+2°58′	26° 39¾′
BT	−49°20′	10$\bar{1}$1	−38°13′	−11°07′	26° 39¾′
BT	−49°20′	20$\bar{2}$3	−49°44′	+0°24′	68° 12¾′
CT	+38°0′	01$\bar{1}$1	+38°13′	+0°13′	26° 39¾′
DT	−51°58′	20$\bar{2}$3	−49°44′	−2°14′	68° 12¾′
GT	+51°08′	02$\bar{2}$3	+49°44′	−1°24′	68° 12¾′

*) Gebaseerd op Kα = 1,5418 Å. Berekend met de afmetingen a = 4,9131 Å en c = 5,4046 Å van de elementaire cel van het kwartskristal bij 18,0 °C (metingen van A. J. C. Wilson en H. Lipson, Proc. Phys. Soc. **53**, 245-250, 1941).

gegevens niet ondubbelzinnig mogelijk; immers, al weten we hoe groot de hoek γ tussen het roostervlak en de AT-snede is (in ons geval $\gamma = 2°58'$), we kunnen uit de meting niet te weten komen of $\varepsilon > \gamma$ dan wel $\varepsilon < \gamma$, met andere woorden of γ bij $\Delta\alpha$ moet worden opgeteld dan wel er van afgetrokken. Deze moeilijkheid, die door *fig. 13a,b* wordt toegelicht, doet zich niet voor als γ nogal groot is (dwz. als het vergelijkingsroostervlak verre van evenwijdig is aan AT-snede en proefsnede); in dat geval zal men nl. zeker zijn dat de oriënteringsfout ε kleiner is dan γ. Heeft men echter terwille van de nauwkeurigheid van de meting (zie boven) γ tamelijk klein gekozen, dan is de dubbelzinnigheid alleen op te heffen door de meting van de proefsnede min of meer globaal nog eens met een ander vergelijkingsroostervlak te doen, bijv. met het 0223-vlak ($\gamma' = 49°44' - 35°15' = 14°29'$), waarna de beide voorwaarden $\varepsilon = \Delta\alpha \pm \gamma$ en $\varepsilon = \Delta\alpha' \pm \gamma'$ tezamen nog slechts één mogelijkheid voor ε openlaten.

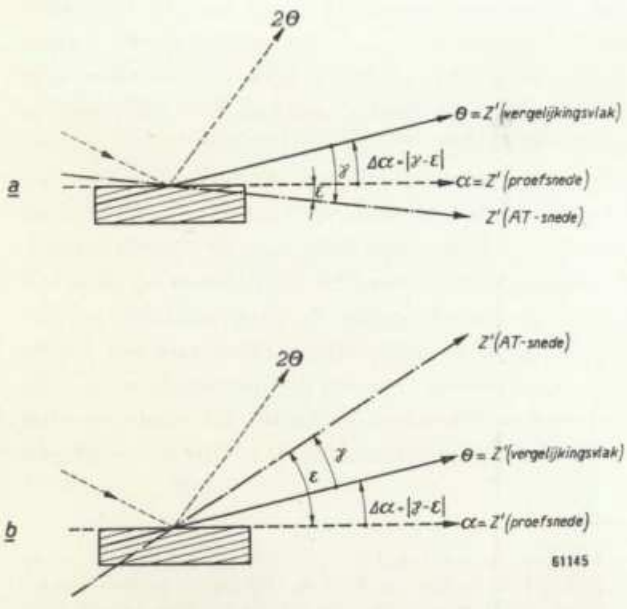


Fig. 13. De röntgenmeting levert de grootte en de richting van de correctiehoek $\Delta\alpha = |\gamma - \varepsilon|$ die nodig is om de proefsnede te doen samenvallen met het vergelijkingsroostervlak. Teneinde de correctie ε te vinden die nodig is om de gewenste AT-snede te verkrijgen, moet men ook nog weten of $\gamma > \varepsilon$ dan wel $\gamma < \varepsilon$, waarover de röntgenmeting geen uitsluitsel geeft.

In de uitvoering van de metingen zijn allerlei varianten mogelijk, die men kan aanpassen bij de snijmethode (de vroeger besproken „strategie" van het zagen). In gevallen bijv. waarin men een oppervlak parallel wil maken aan een bepaald roostervlak, of het hiermee slechts een kleine hoek wil laten insluiten, en waarbij een grotere nauwkeurigheid wordt verlangd dan men met de zaag gemakkelijk kan realiseren, is de volgende methode nuttig gebleken. Het kristal wordt gemonteerd op een speciaal geconstrueerd, in twee onderling loodrechte richtingen verstelbaar, support. Vervolgens wordt het in de röntgenbundel gebracht en door manipulatie aan de stelschroeven van het support gekanteld totdat de gewenste röntgenreflectie optreedt. Het kristal heeft dan de juiste orientering ten opzichte van de instelkanten van het support. Dit wordt daarna in een slijpmachine geplaatst en het kristaloppervlak wordt afgeslepen, waardoor het oppervlak de gewenste orientatie krijgt. Deze methode werd gebruikt voor het winnen van platen uit kristallen, toen men nog geen nauwkeurige zaagmethoden had. Het is echter wel duidelijk dat bij deze werkwijze, als men er grote aantallen platen mee zou maken, veel materiaal zou worden verspild, daar men dikkere sneden moet maken dan bij het direct juist afzagen.

Ook buiten het gebied der kwartsplatenfabricage heeft de methode van hoekmeting door röntgendiffractie een zekere betekenis gekregen; zij kan

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bijv. met bepaalde modificaties worden toegepast voor het orienteren van diamanten voor de draadtrekkerij, van saffiernaalden die als groeftasters voor grammofoons worden vervaardigd, voor het snijden van bariumtitanaatkristallen, enz. [7]).

[7]) Nora Wooster, Orientation of diamonds by X-rays, Ind. Diam. Rev. **3**, 1-3, 1943.
R. H. Gillette en M. H. Jellinek, An instrument for rapid determination of crystal orientation, Rev. sci. Instr. **20**, 480-483, 1949 (No. 7).

Samenvatting. Na een inleidende beschouwing over de toleranties bij de vervaardiging van kwarts-oscillatorplaatjes wordt het röntgendiffractie-apparaat beschreven dat door de North American Philips Co. tijdens de oorlog is geconstrueerd om een snelle en nauwkeurige contrôle der kristallografische hoeken van proefsneden mogelijk te maken. Bij dit apparaat wordt een Geigertelbuis gebruikt om de gereflecteerde röntgenbundel aan te tonen. Na plaatsing van de telbuis in de stand 2Θ (Θ = hoek van Bragg) op een goniometerschaal, draait men de houder waarin het te onderzoeken kristalstukje of plaatje is geklemd, totdat een reflectie optreedt. Het reflecterende roostervlak is dan georienteerd volgens de hoek Θ op de goniometerschaal, en hieruit kan men de hoeken tussen dit roostervlak en het instelvlak van de kristalhouder (snijvlak van de proefsnede) afleiden. De uitvoering der metingen, met name de keuze van een geschikt roostervlak als vergelijkingsvlak, wordt toegelicht aan enige voorbeelden: contrôle van de *Y-Z*-snede voor het maken van een *X*-blok en contrôle van AT- en BT-snede.

STEEKPROEFSCHEMA'S EN STEEKPROEFTABELLEN IN DE PRACTIJK

door H. C. HAMAKER, J. J. M. TAUDIN CHABOT en F. G. WILLEMZE.

620.113.2:658.562

Voor de practische uitvoering van stelselmatige steekproefcontrôles door eenvoudig fabriekspersoneel is bij de Nederlandse Philipsfabrieken een steekproeftabel ingevoerd, waaruit gemakkelijk voor elk geval het doelmatigste steekproefschema kan worden afgelezen. Bij het opstellen van deze tabel zijn allerlei tekortkomingen van oudere steekproeftabellen vermeden.

Recapitulatie

De keuringskarakteristiek van een willekeurig steekproefschema — enkelvoudig, dubbel of onbepaald — kan voldoende nauwkeurig worden vastgelegd door slechts twee parameters. Als zodanig kan men met voordeel gebruiken het contrôlepunt (p_0) en de relatieve helling (h_0) van de karakteristiek, zoals in een voorgaand artikel is uiteengezet [1]). Schrijft men een bepaalde waarde voor p_0 en voor h_0 voor, dan kan men onmiddellijk het enkelvoudige steekproefschema dat de desbetreffende keuringskarakteristiek heeft afleiden. Het enkelvoudige schema wordt immers gegeven door de steekproefgrootte n_0 (aantal te onderzoeken eenheden uit de te keuren partij) en het criterium c_0 (voor goedkeuring van de partij toe te laten aantal uitvallers). Er gelden nu de betrekkingen (vgl. II):

$$c_0 = \frac{\pi}{2} h_0^2 - 0{,}73 \,, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

$$n_0 = \frac{c_0 + 0{,}67}{p_0} \,. \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Wordt n_0 onaangenaam groot, dan kan men hierin eventueel verbetering brengen door over te gaan tot een dubbel steekproefschema, met dezelfde karakteristiek (p_0, h_0). Hoe men dit op eenvoudige wijze kan doen, is eveneens in II uiteengezet (zie tabel II in dat artikel).

Men zou kunnen menen dat daarmee het probleem van het vinden van het juiste steekproefschema voor elk practisch geval is opgelost: men schrijve p_0 en h_0 voor en werke dan met de waarden van c_0 en n_0 die hieruit volgens (1) en (2) worden berekend. Eventueel kan men de berekening volgens deze formules voor alle voorkomende waarden van p_0 en h_0 eens en voor altijd uitvoeren en de berekende waarden van c_0 en n_0 in een tabel geven.

Zo eenvoudig echter is de zaak toch niet. Om dat in te zien, is het noodzakelijk dat we ons thans losrukken uit de sfeer van abstract onderzoek waarin het voorgaande artikel werd geschreven en dat we ons verplaatsen naar de fabriek of fabrieksafdeling waar de steekproefschema's daadwerkelijk moeten worden toegepast.

[1]) H. C. Hamaker, Steekproefschema's, Philips techn. T. **11**, 264-274, 1949 (No. 9). Vgl. ook: H. C. Hamaker, De keuring van partijen door middel van steekproeven, Philips techn. T. **11**, 187-194, 1949 (No. 6). Deze beide artikelen worden verder aangehaald als II resp. I.
Bij deze gelegenheid zij er op gewezen, dat in II op blz. 273 in de rechter kolom de achtste regel van boven moet luiden: ... het schema $D(2; 2, 10, 10)$ met $n_1 = 3{,}78/0{,}0308 = 123$ als de ...

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Contrôlepunt en keuringsscherpte

Aan de ene zijde van de fabriek, de ingang, komt het materiaal binnen, soms als grondstof, dikwijls in de vorm van gerede onderdelen. Dit materiaal ondergaat in de fabriek een verdere bewerking resp. de onderdelen worden tot gecompliceerdere aggregaten samengesteld, waarbij zij eventueel nog tussentijds van de ene afdeling naar de andere moeten worden doorgegeven; tot dan ten slotte het afgewerkte product aan de uitgangszijde de fabriek verlaat.

Deze stroom van materiaal wordt om redenen van technische en administratieve aard onderverdeeld in partijen, en het zal er ons om te doen zijn, zulke partijen van tijd tot tijd door middel van een steekproef aan de tand te voelen. Dit kan geschieden bij de ingang, bij de uitgang, tussen twee afdelingen, en ten slotte ook tijdens de bewerking zelf, dwz. aan de machine of aan de lopende band. Hoewel het laatste soort contrôles, waarmee men rechtstreeks het fabricageproces in de gaten houdt, voor de practijk zeer belangrijk is, zullen wij hier in hoofdzaak de eerstgenoemde contrôles, de ingangs- en uitgangskeuringen, bespreken. Waarom onderscheid moet worden gemaakt tussen de twee soorten contrôles, zal hieronder nog worden toegelicht.

De ingangs- en uitgangskeuringen zal men bij voorkeur doen uitvoeren door speciaal daartoe ingestelde instanties. Dit heeft het voordeel dat alle uit de keuringen voortvloeiende gegevens over eventuele gebreken in het productieproces op één plaats, bij de controleur, kunnen worden verzameld en gezamenlijk verwerkt.

Voor iedere partij artikelen die bij de controleur wordt binnengebracht, zal hij nu, natuurlijk in overleg met de desbetreffende producent en afnemer, moeten aangeven welk steekproefschema dient te worden toegepast. Dit komt er op neer dat beslist moet worden over het contrôlepunt p_0 en over de nodige „scherpte" van de keuring (waarvoor h_0 een maat is).

Het contrôlepunt heeft ruwweg de betekenis van het scheidingspunt tussen „goede" en „slechte" partijen, en de producent en afnemer worden het er, zoals de practijk leert, doorgaans vrij gemakkelijk over eens welk contrôlepunt men in een gegeven geval dient aan te houden.

Met de „scherpte" van de keuring is het minder eenvoudig. Het is duidelijk dat men niet alle keuringen met dezelfde scherpte zal willen uitvoeren. Een scherpe keuring vereist, globaal gesproken, een grote steekproef, dus veel werk, en deze factor moet worden afgewogen o.a. tegen de economische bezwaren die het ten onrechte goed- of afkeuren van enkele partijen ten gevolge van minder scherpe keuring zal hebben (zie I). Nu zijn de partijen die bij de keurende instantie binnenkomen, ook al beperken we ons tot een enkel product, niet steeds even groot. Het komt vaak voor dat men de ene dag een partij van bijv. 500 stuks te keuren krijgt en enkele dagen later een van 5000. Het ligt dan voor de hand dat men de grotere partij wat strenger zal willen keuren dan de kleine. Stellen we bijv. het contrôlepunt op 2%, dwz. wensen wij dat een partij met 2% fouten een goedkeurkans van 50% heeft, dan zullen we partijen met 5% fouten zeker maar een heel kleine goedkeurkans willen geven. Doch men zal stellig nog minder risico willen lopen bij toeval eens een partij van 5000 stuks met 5% foutieve exemplaren goed te keuren dan een dito partij van 500 stuks. Met andere woorden, voor de grotere partij zal een grotere h_0 gewenst zijn, dus een grotere steekproef.

Ook voor gevallen met gelijke partijgrootte maar waarbij we verschillende waarden van het contrôlepunt p_0 voorschrijven, is een verschil in scherpte van de keuring gewenst. Zouden we bijv. bij $p_0 = 2\%$ en $p_0 = 4\%$ dezelfde relatieve helling van de keuringskarakteristiek kiezen, dan zou dit betekenen dat we in het tweede geval de steekproeven half zo groot maken als in het eerste. Men kan als volgt inzien dat dit niet de beste keuze kan zijn.

Het komt veel voor dat afgekeurde partijen aan een volledige sortering worden onderworpen. Een steekproefkeuring brengt altijd met zich mede dat zo nu en dan eens een partij die feitelijk goed is, toch wordt afgekeurd en dan moet worden gesorteerd. Behalve met het eigenlijke keuringswerk moet ook met dit ongemotiveerde sorteerwerk rekening worden gehouden: de beide hoeveelheden werk tezamen moeten een minimum bereiken. Keuren we nu twee verschillende artikelen respectievelijk met $p_0 = 2\%$ en $p_0 = 4\%$, doch met dezelfde h_0, dan zal in het laatste geval de kans op het onnodig moeten sorteren van een „goede" partij gemiddeld niet kleiner zijn dan in het eerste, dus het sorteerwerk blijft hetzelfde. De steekproef echter wordt, zoals boven vermeld, voor het tweede geval tweemaal zo klein, dwz. het keurwerk daalt tot de helft. Is in het geval $p_0 = 2\%$ de waarde van h_0 (dus de steekproefgrootte) zo gekozen dat aan de genoemde minimum-voorwaarde wordt voldaan, dan zal men in het geval $p_0 = 4\%$ met voordeel h_0 wat groter kiezen, dwz. een wat grotere steekproef nemen, waardoor het volledig sorteren van goede partijen minder vaak zal voorkomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De bewering omtrent de kans op het onnodig moeten sorteren van een „goede" partij vereist nog enige toelichting. Gaan we, bij een gegeven waarde van h_0, over van $p_0 = 2\%$ tot $p_0 = 4\%$, dan wordt de afkeurkans voor een goede partij, met laten we zeggen 1% fouten, aanzienlijk kleiner. Uit de keuringskarakteristieken in *fig. 1a* is dit dadelijk te zien. Daar tegenover staat echter dat men in het algemeen slechts overgaat tot een grotere waarde van p_0 als men te maken krijgt met artikelen die gemiddeld met een hoger percentage

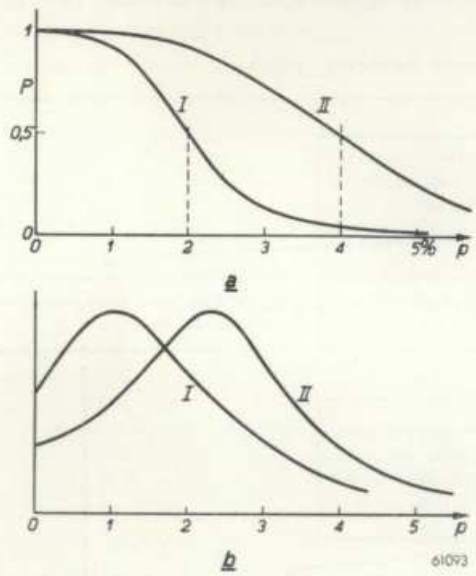


Fig. 1. *a*) Twee keuringskarakteristieken met gelijke relatieve helling h_0. Bij de karakteristiek *I* is het contrôlepunt $p_0 = 2\%$ (p_0 is het foutenpercentage waarmee een partij de goedkeurkans $P = \frac{1}{2}$ heeft); bij *II* is $p_0 = 4\%$. — Het verschil in contrôlepunt, bij gelijke h_0, komt neer op een verandering van de abscisschaal van de karakteristiek.
b) Een artikel waarvoor men $p_0 = 4\%$ kiest, zal in het algemeen met meer fouten gefabriceerd worden dan een artikel waarbij men $p_0 = 2\%$ kan nemen. De waarschijnlijkheid om een partij met $p\%$ fouten tegen te komen, zal voor deze beide artikelen als functie van p globaal worden gegeven door de krommen *II* resp. *I*.

fouten worden geproduceerd. In het geval $p_0 = 4\%$ zal men dus te maken hebben met partijen waarbij de waarschijnlijkheid om een partij met 2% fouten tegen te komen, ruwweg even groot is als de waarschijnlijkheid om in het geval $p_0 = 2\%$ een partij met 1% fouten aan te treffen; vgl. fig. 1*b*. Het product van deze waarschijnlijkheid met de afkeurkans, geïntegreerd over alle foutenpercentages beneden p_0, geeft de kans aan op het onnodig moeten sorteren van een goede partij. De waarden van dit product zullen elkaar in de beide gevallen van fig. 1 niet veel ontlopen.

De bovenstaande argumentering is gericht op de belangen van de controlerende instantie, die immers haar werkzaamheden moet trachten zoveel mogelijk te beperken. Maar ook met het oog op de belangen van de afnemer is het gewenst, bij gelijke partijgrootte een grotere keuringsscherpte te nemen naarmate een hoger contrôlepunt wordt gekozen. Zouden we nl. h_0 constant laten, dan zou de verhoging van het contrôlepunt p_0 een uitrekken van de keuringskarakteristiek betekenen, alsof alleen de abscisschaal ware veranderd (vgl. fig. 1*a*). Evenredig met p_0 zou dus ook bijv. het 10%-risicopunt van de afnemer omhooggaan. Dit wil zeggen dat de afnemer, die in het geval $p_0 = 2\%$ een kans van 10% had dat een partij met een bepaald hoog foutenpercentage x zou worden goedgekeurd, bij het overgaan tot $p_0 = 4\%$ dezelfde kwade kans van 10% loopt bij een partij met een foutenpercentage van $2x$. De schade door materiaalverlies is in het laatste geval veel groter dan in het eerste. De afnemer zal dus wensen, al neemt hij met een hoger contrôlepunt genoegen, dat zijn 10%-risicopunt niet in die mate hoger wordt, hetgeen betekent dat men een wat steilere karakteristiek (grotere h_0) moet kiezen.

De slotsom van al deze beschouwingen is, dat men de scherpte van de keuring, h_0, voor de practijk op een bepaalde wijze afhankelijk moet maken van de partijgrootte èn van het contrôlepunt. Heeft men een bepaalde afhankelijkheid gekozen, dan zou men deze in een tabel kunnen geven, met partijgrootte en contrôlepunt als ingangen. Nog eenvoudiger echter kan men dan deze tabel combineren met de eerder vermelde, die de numerieke uitwerking van de formules (1) en (2) geeft. Men krijgt dan een tabel waarin voor elke combinatie van partijgrootte en contrôlepunt rechtstreeks de, uit de bijbehorende h_0 en de gegeven p_0 afgeleide, waarden van steekproefgrootte n_0 en criterium c_0 worden gegeven.

Alleen in zulk een vorm kan een steekproeftabel worden toegepast door fabriekspersoneel, waarbij eenvoud van de handeling een eerste vereiste is en waarbij het zeker niet gewenst is dat voor het vinden van een steekproefschema nog een of andere berekening moet worden uitgevoerd.

De Philips SSS-tabel

De wijze waarop de keuringsscherpte afhankelijk dient te worden gemaakt van partijgrootte en contrôlepunt, is een kwestie van ervaring. Scherpe uitspraken zal men hierover in het algemeen niet kunnen doen, in verband met de onbepaaldheid van de meespelende economische factoren, waarover in I is uitgeweid. Ook kan men, doordat deze factoren van geval tot geval sterk variëren, geen algemeen geldige beslissingen over de te kiezen keuringsscherpte verwachten.

Toch komen er in de moderne massafabricage vele keuringen voor die, wat betreft de invloeden van de diverse economische factoren, onderling niet sterk verschillen; waarbij het doorgeven van een enkele slechte partij geen exorbitante schade ten gevolge heeft en waar de kosten van een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

keuring — bijv. het controleren van afmetingen met kalibers, of het visueel inspecteren van de afwerking van stamp- en draaiwerk — relatief gering zijn. Het is mogelijk gebleken dergelijke keuringen gezamenlijk over één kam te scheren, dwz. één enkele tabel te geven waaruit bij gegeven contrôlepunt en partijgrootte het toe te passen steekproefschema kan worden afgelezen. Hierdoor wordt de practische toepasbaarheid in niet geringe mate verhoogd en wordt een homogeniteit van handelen bewerkstelligd die het treffen van goede regelingen tussen producent en afnemer ten zeerste kan bevorderen. Zulk een tabel is het Standaard Steekproef Systeem, dat in de Philips-fabrieken in Nederland is ingevoerd en dat men hier als *tabel I* vindt weergegeven.

De aan deze tabel ten grondslag liggende variatie van de keuringsscherpte (toeneming van h_0 naar

Tabel I. Philips Standaard Steekproef Systeem (SSS).

Steekproef van n_1 (n_0) stuks inspecteren, samengesteld uit minstens 5 grepen uit verschillende plaatsen van de partij. Indien hierin
c_1 (c_0) of minder uitvallers worden gevonden, dan
meer dan c_1, doch ten hoogste c_2 uitvallers worden gevonden, dan
meer dan c_2 (c_0) uitvallers worden gevonden, dan
een tweede steekproef van $2n_1$ stuks inspecteren, samengesteld uit minstens 5 grepen uit verschillende plaatsen van de partij. Indien in de eerste en tweede steekproef tezamen ($3n_1$ stuks)
c_2 of minder uitvallers worden gevonden, dan
meer dan c_2 uitvallers worden gevonden, dan
partij goedkeuren
partij afkeuren

N.B. Indien onder n_0 vermeld staat A, betekent dit dat men geen steekproef mag nemen doch de gehele partij moet inspecteren.

	CONTROLE-PUNT / PARTIJ-GROOTTE	¼%		½%		1%		2%		3%		5%		7%		10%	
Enkelvoudige steekproefschema's		n_0	c_0	n_0	c_0	n_0	c_0	n_0	c_0	n_0	c_0	n_0	c_0	n_0	c_0	n_0	c_0
	20-50	A	—	A	—	A	—	30	0	20	0	13	0	10	0	7	0
	51-100	A	—	A	—	60	0	30	0	20	0	13	0	10	0	7	0
	101-200	A	—	100	0	60	0	35	0	55	1	35	1	25	1	17	1
	201-500	175	0	100	0	135	1	75	1	55	1	35	1	40	2	25	2
	501-1000	225	0	225	1	150	1	85	1	85	2	55	2	55	3	35	3
Dubbele steekproefschema's		n_1	c_1 c_2	n_1	c_1 c_2	n_1	c_1 c_2	n_1	c_1 c_2	n_1	c_1 c_2	n_1	c_1 c_2	n_1	c_1 c_2	n_1	c_1 c_2
	1001-2000	330	0 1	150	0 1	110	0 2	55	0 2	45	0 3	25	0 3	30	1 5	22	1 5
	2001-5000	425	0 2	200	0 2	135	0 3	70	0 3	70	1 5	45	1 5	55	2 10	40	2 10
	5001-10000	525	0 3	260	0 3	220	1 5	110	1 5	125	2 10	75	2 10	75	3 15	55	3 15
	10000-20000	875	1 5	440	1 5	380	2 10	190	2 10	180	3 15	110	3 15	100	4 20	70	4 20
	20000-50000	1500	2 10	750	2 10	540	3 15	270	3 15	240	4 20	140	4 20	120	5 25	85	5 25
	50000-100000	2200	3 15	1100	3 15	700	4 20	390	4 20	290	5 25	175	5 25	145	6 30	105	6 30

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

beneden en naar rechts) werd gekozen naar het voorbeeld van bestaande tabellen, waarvan bekend was dat zij in de practijk goed hebben voldaan, met name naar het voorbeeld van de in onze Engelse fabrieken in gebruik zijnde R.M.I.-tabel (Raw Material Inspection). Doordat zoveel mogelijk dezelfde karakteristieken zijn aangehouden als corresponderen met de schema's in die tabel, kunnen deze beide tabellen elkaar vervangen zonder dat men dan gevaar loopt dat de keuringsresultaten tot ernstige klachten aanleiding zullen geven.

De oudere tabellen van andere instanties zijn ook steeds in principe zo opgezet dat n_0 en c_0 — resp. bij dubbele steekproefschema's n_1, n_2 en c_1, c_2, c_3 — worden opgegeven als functie van twee parameters, waarvan de ene altijd de partijgrootte is. Voor de tweede parameter zijn in die tabellen in plaats van het contrôlepunt andere grootheden gekozen, die evenals het contrôlepunt de functie hebben de belangen van producent en/of afnemer in rekening te brengen. Naar onze mening is echter juist het contrôlepunt een voor de practijk zeer geschikte grootheid, waarvan de betekenis gemakkelijk door alle betrokkenen wordt aangevoeld. Een hiermee ongeveer overeenkomende parameter is in de genoemde R.M.I.-tabel gebezigd; doch deze tabel heeft weer andere bezwaren. Op deze bezwaren en op de diverse gebreken die de oudere steekproeftabellen aankleven en die ons aanleiding gaven voor onze fabrieken een nieuwe tabel uit te werken, wordt in een Aanhangsel van dit artikel ingegaan.

In de Philips SSS-tabel komen enkele en dubbele steekproefschema's voor. Bij kleine partijen zijn de steekproeven vanzelf ook klein en is het voordeel van een dubbel schema dientengevolge gering; hier zijn enkelvoudige schema's toegepast. Eerst bij partijen groter dan 1000 stuks wordt op een dubbel steekproefschema overgegaan. Daarbij is op grond van de theoretische beschouwingen van II de tweede steekproef steeds twee keer zo groot gekozen als de eerste, terwijl ter vereenvoudiging is vastgehouden aan het principe van Dodge en Romig ($c_2 = c_3$; zie het Aanhangsel). Zoveel mogelijk is c_3 vijf maal zo groot gekozen als c_1, waardoor een goede efficientie wordt verzekerd.

Op grote nauwkeurigheid komt het in de practijk niet aan. Dat bij het berekenen van c_0 uit de gewenste h_0 volgens formule (1) het resultaat altijd moet worden afgerond tot een geheel getal — waardoor men dan in feite met iets andere waarden van h_0 en p_0 werkt dan waarvan men is uitgegaan — heeft heel weinig invloed. Om dezelfde reden is het mogelijk de contrôlepunten en partijgrootten vrij grof in een aantal klassen in te delen. Hierdoor blijft de omvang van de tabel beperkt, zodat zij gemakkelijk in zakformaat kan worden uitgevoerd. De partijgrootten zijn ingedeeld volgens de bekende reeks 1, 2, 5, 10, 20, 50 enz., hetgeen rationeel is en gemakkelijk aanspreekt bij de gebruiker [2]).

Teneinde te voorkomen dat inhomogeniteiten in de te keuren partijen het keuringsresultaat onbetrouwbaar maken, is voorgeschreven dat elke steekproef moet worden samengesteld uit grepen op minstens vijf verschillende plaatsen van de partij.

Ten slotte zij nog vermeld dat de tabel slechts is bedoeld als richtlijn, doch niet bindend is voorgeschreven. Leert de ervaring dat bij het keuren van een bepaald product bijna nooit een partij wordt afgekeurd, dan wordt aan de inspecteur de vrijheid gelaten de scherpte van zijn contrôle te verminderen. Hierbij wordt aanbevolen het contrôlepunt zoveel mogelijk op de oude waarde te handhaven en over te gaan op een steekproefschema dat een of twee regels hoger in de tabel staat dan het voorheen toegepaste.

Het gebruik van de tabel in de practijk

Behalve één of meer exemplaren van de tabel moeten in iedere contrôle-afdeling natuurlijk aanwezig zijn specificaties van de eisen die aan de verschillende te keuren artikelen moeten worden gesteld. Het is gemakkelijk, hiertoe een kaartsysteem aan te leggen, volgens codenummer gerangschikt. *Fig. 2* geeft een model van een kaart die door sommige contrôle-afdelingen van onze Eindhovense fabrieken wordt gebezigd. Naast de te stellen eisen vermeldt deze kaart ook het gereedschap dat bij de contrôle moet worden gebruikt, en het contrôlepunt dat bij de keuring moet worden aangehouden.

---

[2]) Bij kleine partijgrootte en laag contrôlepunt gelden de formules (1) en (2) nog slechts in ruwe benadering, aangezien dan de steekproeven zo'n groot gedeelte van de partij vormen dat aan de voorwaarden voor het toepassen van de formules van Poisson, waarop (1) en (2) zijn gebaseerd (zie II), niet meer is voldaan. Zoals een nadere analyse heeft doen zien, is het echter mogelijk door een betrekkelijk eenvoudige uitbreiding van de formules (1) en (2) ook in dat geval een goede benadering te verkrijgen. Men moet dan schrijven:

$$n_0 p_0 = c_0 + 0{,}67 - 0{,}33\, n_0/N\,,$$

$$(\pi/2)\, h_0^2 = (n_0 p_0 + 0{,}06)/(1 - n_0/N)\,,$$

waarin N de partijgrootte voorstelt. Men ziet dat h_0 groter, dus de keuringskarakteristiek steiler wordt naarmate n_0/N toeneemt; h_0 wordt oneindig als $n_0 = N$, dus als de partij in zijn geheel wordt gekeurd.

In de SSS-tabel is zo goed mogelijk met deze formules rekening gehouden. Zou men het effect van de eindige steekproefgrootte echter precies in rekening willen brengen, dan zou men vooral de kleine partijen in een groter aantal klassen moeten onderverdelen en dit is niet gewenst.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

CONTROLE STAMKAART ARTIKEL: Huis CODENUMMER: 20454.91

Controlesysteem

Steekproeftabel Controle %	SSS 3%
Overleg gepleegd met	Afdeling H
Dat. opstelling of wijziging	
Reden van wijziging	
Samengesteld door	V. Doesburg

Afnemer: Afdeling H
Leveranciers: Hendriks

Te controleren maten en eigenschappen:	Meetgereedschap	Opm. e.d.e.
Materiaal: zie tekening	magneet	
Finishing: geen trekgroeven, geen kraters, buitenkant niet gevlekt of vuil		
Afmetingen: Mal moet er tot op de bodem toe ingaan	Mal 23 (iets invetten)	
maat 10 - 0.2 mag niet afwijken	Schuifmaat	
maat 2,5 - 0,1 mag niet kleiner zijn	"	
insnijding 1,5 mag niet ondieper zijn	Mal 22	
maat ØF⁸ zuiver en glad	Pen ØF⁸ (iets invetten)	

Codenummer Wijziging

Datum	Letter/cijfer	Opmerking	Datum	Letter/cijfer	Opmerking	Datum	Letter/cijfer	Opmerking

57 300 69

60957

Fig. 2. Contrôlekaart, met specificatie van het te keuren artikel en de eigenschappen waarop moet worden gekeurd.

Het is van belang de resultaten, bij de steekproefkeuring verkregen, te registreren. *Fig. 3* toont een tweede kaart, die voor dit doel werd ontworpen. Achter de datum en het nummer van de order volgt de partijgrootte en het steekproefresultaat, en ten slotte de beslissing die op grond van dit resultaat werd genomen. De meeste producten kunnen verschillende fouten vertonen, en op de achterzijde van deze keuringskaart kan de aard der geconstateerde fouten nader worden aangegeven. Bij eventuele reclames kan men dan steeds teruggrijpen naar de daadwerkelijke uitkomsten die de keuring heeft opgeleverd.

Bij de keuringen die op inkomende, van buiten de fabriek geleverde goederen worden verricht, heeft het zin voor ieder artikel, en indien het artikel van verschillende zijden wordt betrokken: ook voor iedere leverancier, een afzonderlijke keuringskaart aan te leggen. Is de kaart vol, dan kunnen de resultaten van de steekproeven (bij dubbele schema's: van de eerste steekproef) bij elkaar worden opgeteld tot een eindcijfer. In fig. 3 bijv. zijn in totaal 1435 eenheden gekeurd en hierin zijn 59 uitvallers aangetroffen, dat is 4,1%. Dit getal geeft een maat voor de gemiddelde uitval in de betrokken periode gefabriceerd of ontvangen. De eindresultaten kunnen op een afzonderlijke staat worden overgebracht en de keuringskaart zelf kan na enige tijd worden vernietigd, om een opeenhoping van teveel papier tegen te gaan. Moeten de aankopen van een artikel of onderdeel worden ingekrompen of uitgebreid, dan heeft men in deze verzamelstaten de gegevens ter beschikking op grond waarvan men bijv. bij het kiezen tussen verschillende leveranciers behalve de prijs ook de kwaliteit in rekening kan brengen. Ook kunnen de verzamelstaten de producent indicaties geven over de aard van de meest voorkomende fouten in een product, waaraan hij dan bijzondere aandacht kan schenken.

Tot slot is het gewenst nog even uitdrukkelijk te wijzen op de grenzen die aan de toepassing van de SSS-tabel zijn gesteld. De belangrijkste categorie steekproefkeuringen waarvoor de tabel niet geschikt is, zijn levensduurproeven en in het algemeen destructieve keuringen. Het is wel duidelijk dat hierbij door de relatief veel hogere kosten van een keuring het samenspel der economische factoren tot andere eisen wat betreft de keuringsscherpte moet leiden dan in de SSS-tabel zijn verwerkt, en dat hier de situaties voor verschillende producten weer onderling zo sterk kunnen verschillen dat

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

KEURINGSKAART

ARTIKEL: Huis CODENUMMER: 28454.91
STEEKPROEFTABEL: SSS
CONTROLE %: 3% LEVERANCIER: Hendriks

PARTIJ-NR.	DATUM	ADVIES- OF ORDER-NUMMER	PARTIJ-GROOTTE	1e STEEKPROEF Gecontroleerd	Afgekeurd	%	2e STEEKPROEF Gecontroleerd	Afgekeurd	Paraaf Controleur	BESLISSING Goed	Fout Retour	Sorteren	Accepteren	STUKCONTROLE OF SORTEREN Gecontroleerd	Afgekeurd Totaal	Rep.	PARTIJ-NR.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Totalen vorige kaart →																	
1	9/11 48	4100	680	85	0				HB	680							1
2	7/12	4141	1073	45	1		90	1	HB	1073							2
3	8/12	5175	893	85	1				HB	893							3
4	9/12	5221	3260	70	2		140	2	HB	3260							4
5	15/12	6531	5183	125	24				HB		5183						5
6	17/12	6876	793	85	4				JD			793		793	59		6
7	23/12	8321	2021	70	1				JD	2021							7
8	10/1	8744	2436	70	0				HF	2436							8
9	10/1	8721	1031	45	0				HF	1031							9
10	24/3	10363	6028	126	5		250	12	JD				6028				10
11	25/3	10358	979	85	1				HB	979							11
12	28/3	11461	1726	45	0				HF	1726							12
13	31/3	11783	2666	70	13				JD			2666		2666	497		13
14	7/4	12522	650	85	2				JD	650							14
15	13/4	14612	3579	70	0				HB	3579							15
16	16/4	15117	3711	70	0				HB	3711							16
17	25/4	16277	1539	45	2		90	0	HF	1539							17
18	14/5	18286	1967	45	0				HF	1967							18
19	19/5	19403	1004	45	0				JD	1004							19
20	25/5	19507	2155	70	3		140	3	BF		2155						20
TOTALEN			43673	1435	59	4.1%											

60958

SPECIFICATIE DER UITVAL IN 1e STEEKPROEF/STUK-CONTROLE

PARTIJNUMMER	1 Tiekgloeven	2 Bramen	3 Gevlekt vuil	4 Mal 23 patinit	5 Maat 10-0.2 te groot	6 Maat 10-0.2 te klein	7 Maat 25-0.1 te klein	8 Insnijding te diep	9 Maat of 8 fout	10	11	12	13	14	15	OPMERKINGEN
1																
2						1										
3								1								
4			2													
5		24														
6					1			3								
7					1											
8																
9																
10	5															
11		1														
12																
13			13													
14		2														
15																
16																
17		2														
18																
19																
20			2			1										
TOTAAL																

37 200 68

60959

Fig. 3. Keuringskaart, waarop de resultaten van de steekproefkeuring van een reeks partijen van eenzelfde artikel worden geregistreerd. *Boven:* voorzijde, uitkomsten der steekproeven. *Onder:* achterzijde, vermelding van de aard der bij het keuren geconstateerde fouten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voor deze categorie keuringen geen algemeen voorschrift kan worden gegeven. Voorts kan de tabel ook niet worden gebruikt voor de hierboven vermelde contrôle tijdens de fabricage, zoals nu gemakkelijk zal worden ingezien. Bij deze contrôle verdeelt men de stroom materiaal die van een machine of van een band afkomt, in kleine partijen, bijv. telkens de productie van een half uur omvattend, en toetst deze door een steekproef, met de bedoeling grove fouten, die door ontregeling van de machine, slijtage van een gereedschap, indispositie van een arbeider enz. kunnen ontstaan, dadelijk te constateren en hun oorzaak te elimineren, vóór die oorzaak tot een zeer groot aantal foutieve producten kan leiden. Voor zulk een uitzeven van aperte mislukkingen kan met een heel onscherpe keuring worden volstaan, dus met kleine steekproeven, veel kleiner dan volgens de SSS-tabel. Voegt men naderhand de productie van een dag of van een week bijeen, dan kan men de aldus gevormde veel grotere partij beoordelen door alle resultaten van de regelmatige kleine steekproeven op te tellen; voor de partij in zijn geheel heeft men op deze wijze een zeer scherpe keuring.

Aanhangsel: Oudere steekproeftabellen

Pionierswerk op het gebied van de systematiek der steekproefkeuringen werd verricht door Dodge en Romig in de Verenigde Staten van Amerika, die in 1941 een viertal steekproeftabellen in omloop brachten, twee voor enkelvoudige en twee voor dubbele steekproefschema's.

In deze tabellen (of eigenlijk tabellenseries, daar elke tabel slechts twee ingangen kan hebben) wordt de keuze van een schema door drie parameters bepaald. Ondersteld wordt dat men door waarneming heeft vastgesteld, hoe groot het gemiddelde foutenpercentage is dat in de te keuren partijen voorkomt. Dit zg. productiegemiddelde („process average"), waardoor in rekening wordt gebracht wat de producent kan presteren, vormt met de partijgrootte een stel hoofdparameters, die als ingangen voor elke tabel in alle vier tabellenseries worden gebezigd. Daarnaast wordt als derde parameter in twee tabellenseries (één voor enkele en één voor dubbele schema's) de bovengrens van het gemiddeld doorgelaten foutenpercentage toegepast, en in de andere twee tabellenseries het 10%-risicopunt van de afnemer (zie II, pag. 271/272) onder de naam „lot tolerance percent defective". Wij kunnen hier nog aan toevoegen dat Dodge en Romig bij de dubbele schema's de verhouding der steekproefgrootten niet steeds dezelfde hebben gekozen, terwijl zij wat de criteria betreft wel aan het door hen ingevoerde principe $c_2 = c_3$ (zie II) hebben vastgehouden.

Voor een toepassing in de fabrieken is het ongetwijfeld een groot bezwaar van de tabellen van Dodge en Romig dat met de differentiatie te ver is gegaan. Men onderscheidt respectievelijk 20, 6 en 8 verschillende waarden voor de partijgrootte, voor het productiegemiddelde, en voor het 10%-risicopunt van de afnemer (of de bovengrens van het gemiddeld doorgelaten foutenpercentage). Elk van de vier tabellenseries bevat hierdoor $20 \times 6 \times 8 = 960$ verschillende combinaties, voor ieder waarvan een steekproefschema wordt aangegeven. Men krijgt aldus een tabellenwerk dat vele bladzijden beslaat.

Allengs is men zich gaan realiseren dat de onderverdeling hier verder ging dan voor de practijk nodig is. Zo althans moet men wel verklaren dat de gedurende de tweede wereldoorlog ontwikkelde „Army Service Forces Tables", waaraan ook Dodge en Romig hebben medegewerkt en die later met geringe wijzigingen zijn overgenomen door de Statistical Research Group, Columbia University, aanzienlijk eenvoudiger en korter zijn opgezet dan de oorspronkelijke tabellen van Dodge en Romig.

In deze vereenvoudigde tabellen maakt men gebruik van slechts twee in plaats van drie parameters, nl. het 5%-risicopunt van de producent en de partijgrootte. Kennelijk in het streven naar vereenvoudiging, heeft men bovendien de steekproefgrootte vast aan de partijgrootte gekoppeld; in een schema als in tabel I staat dan dus op eenzelfde regel in alle kolommen dezelfde steekproefgrootte. Voorts is bij de dubbele schema's de tweede steekproef steeds tweemaal zo groot genomen als de eerste, $n_2 = 2n_1$. Een indeling naar 7 verschillende partijgrootten en naar 14 waarden van het risicopunt geeft een tabel van 98 combinaties, welke gemakkelijk op een enkele bladzijde kan worden afgedrukt [3]). Voor enkele en dubbele schema's zijn afzonderlijke tabellen gegeven.

Toch zijn ook aan dit systeem nog bezwaren verbonden; deze wortelen in de vermelde koppeling van de steekproefgrootte aan de partijgrootte.

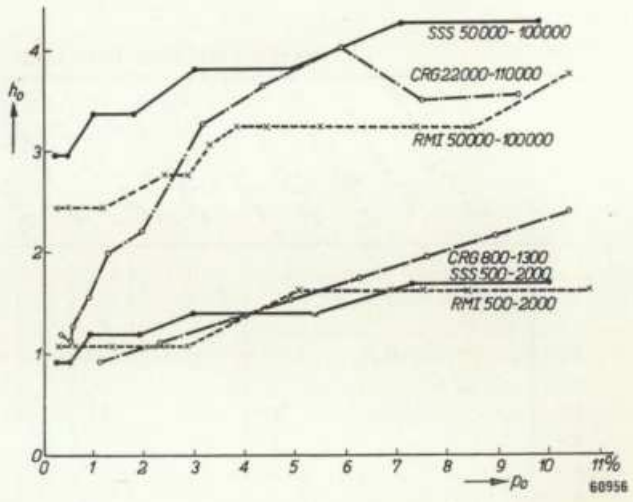


Fig. 4. Variatie van h_0 die in verschillende steekproeftabellen is gerealiseerd, uitgezet als functie van p_0, voor een klasse van gemiddelde partijgrootten en voor de klasse der grootste partijgrootten.
CRG: tabellen der Columbia Research Group.
RMI: Raw Material Inspection-tabel der Engelse Philipsfabrieken.
SSS: Philips Standaard Steekproef Systeem.
De sprongen in de krommen zijn te wijten aan het feit dat voor de criteria slechts gehele getallen kunnen worden gekozen. De knik in de CRG-kromme voor de grote partijen ontstaat doordat men in de CRG-tabel bij hoge waarden van p_0 de in de tekst vermelde koppeling van partij- en steekproefgrootte loslaat en naar kleinere steekproeven overgaat.

[3]) De kleinste partijgrootte in de Army Service Forces Tables is 500. Door de Columbia Research Group is de tabel naar kleinere partijen uitgebreid, waardoor het aantal klassen der partijgrootte tot 14 is gestegen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Zoals men uit formule (1) en (2) ziet, houdt de koppeling in, dat men, bij een gegeven partijgrootte (dus gegeven n_0), reeds een bepaalde variatie voorschrijft van c_0 (en dus van h_0) met de waarde van het contrôlepunt p_0. Dit verloop van h_0 als functie van p_0 is in *fig. 4* voor twee partijgrootten getekend (lijnen CRG). Dat h_0 met p_0 blijkt toe te nemen, strookt met de hierboven besproken wenselijkheid om keuringswerk en ongemotiveerd sorteerwerk tezamen te beperken en om de afnemer te behoeden voor een te groot risico van goedkeuring van zeer slechte partijen. De toeneming van h_0 is echter naar onze mening steiler dan uit dit oogpunt zou kunnen worden gemotiveerd. Voor de Engelse R.M.I.-tabel en, in navolging hiervan, voor onze eigen SSS-tabel is een geleidelijker toeneming gekozen, die in tabel I tot uitdrukking komt in een geleidelijke daling van de steekproefgrootte met toenemende p_0, bij een gegeven partijgrootte. In fig. 4 zijn voor de beide beschouwde klassen van partijgrootten ook de krommen getekend die aangeven hoe h_0 in de R.M.I.-tabel en in onze SSS-tabel verloopt.

Nog frappanter wordt het nadeel van de koppeling der steekproefgrootte aan de partijgrootte, als we de dubbele steekproefschema's van de Army Service Forces Tables beschouwen. Uit de bespreking van het schermendiagram van zulke schema's in II is gebleken, dat aan de keuze der criteria een zekere beperking moet worden opgelegd. Deze beperking kan men aldus schrijven:

$$c_1 < \frac{n_1}{n_1 + n_2} c_3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Is hieraan niet voldaan, dan ontstaan schema's die minder efficient werken dan het qua keuringskarakteristiek aequivalente enkelvoudige schema, hetgeen in fig. 6 in het artikel II duidelijk is te zien. Het blijkt nu bij nader onderzoek dat onder de 40 verschillende combinaties van criteria die in de dubbele schema's van de Army Service Forces Tables voorkomen, er niet minder dan 27 zijn die niet aan de eenvoudige relatie (3), in casu $c_1 < \frac{1}{3}c_3$, voldoen. Dit komt doordat men de dubbele schema's zo goed mogelijk dezelfde keuringskarakteristieken heeft willen geven als die enkelvoudige schema's van de tabel die zij desgewenst moeten vervangen. De corresponderende variatie van de keuringsscherpte volgens fig. 4 kon men wegens de koppeling van de steekproefgrootte aan de partijgrootte alleen verkrijgen door tot inefficiente combinaties van criteria zijn toevlucht te nemen; maar het behoeft geen betoog dat het dan in het geheel geen zin heeft tot het dubbele schema over te gaan!

Tot slot willen wij nog de meermalen aangehaalde Philips R.M.I.-tabel bespreken, die, eveneens tijdens de laatste oorlog, door A. S. Wharton in Engeland werd opgezet en in de Philips-fabrieken aldaar ingevoerd. Een gedeelte van deze tabel drukken wij hierbij af *(tabel II)*.

Dit systeem schrijft om te beginnen het nemen van niet één doch van vijf steekproeven tegelijk voor, die ieder N stuks omvatten en die ieder afzonderlijk worden geïnspecteerd. Is het aantal uitvallers in alle vijf steekproeven kleiner dan het criterium K, dan wordt de partij goedgekeurd; is dit aantal in twee steekproeven gelijk aan K of in één steekproef groter dan K, dan wordt terstond afgekeurd. Worden slechts in één der vijf steekproeven K uitvallers aangetroffen en nergens meer, dan moet een tweede reeks van vijf steekproeven van dezelfde grootte worden genomen, nu met de eis dat in ieder dezer minder dan K uitvallers worden gevonden.

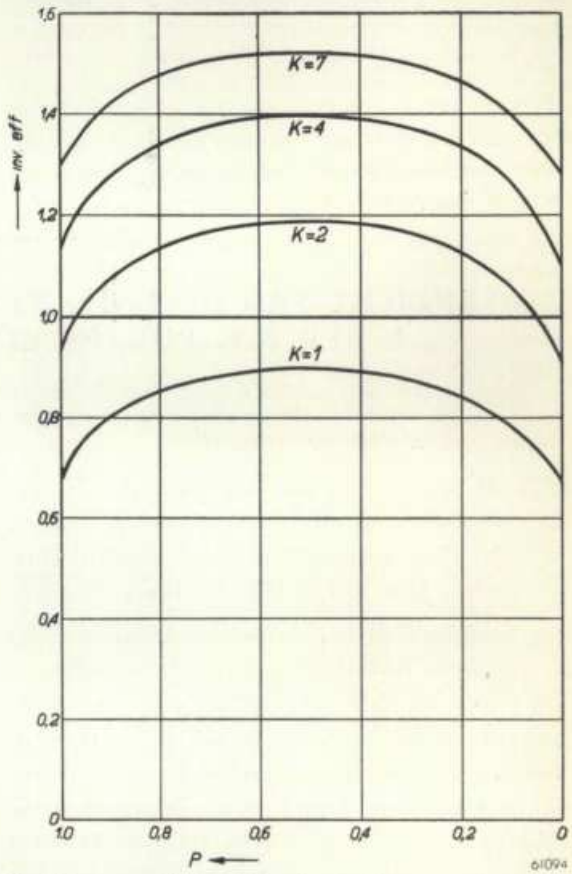


Fig. 5. Inverse efficientie-karakteristieken van de steekproefschema's der R.M.I.-tabel. Voor $K > 1$ is de efficientie slechter dan die van de aequivalente enkelvoudige schema's (die per definitie de efficientie 1 hebben).

Tabel II. Een gedeelte van de Philips R.M.I.-tabel, in Engeland in gebruik.

„Control" / Partijgrootte	¼%		½%		1%		2%		2½%		3%	
	N	*K*	*N*	*K*	*N*	*K*	*N*	*K*	*N*	*K*	*N*	*K*
500 - 2000	65	1	30	1	15	1	10	1	9	1	8	1
2000 - 5000	65	1	30	1	15	1	30	2	28	2	25	2
5000 - 15000	290	2	140	2	50	2	30	2	28	2	45	3
15000 - 25000	540	3	275	3	120	3	60	3	50	3	45	3
25000 - 50000	540	3	275	3	120	3	90	4	70	4	60	4
50000 - 100000	800	4	420	4	180	4	120	5	100	5	110	6
100000 - 250000	1050	5	560	5	280	5	180	6	140	6	145	7

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In principe hebben we hier dus weer met een dubbel steekproefsysteem te maken, terwijl geoordeeld wordt op grond van het maximum aantal uitvallers in één van vijf steekproeven. Dit is een zwak punt. De aantallen uitvallers, in de andere vier steekproeven gevonden, geven ons weliswaar een zekere contrôle op de homogeniteit van de partij — dit is een van de voornaamste overwegingen geweest die tot de ontwikkeling van de vijfvoudige methode hebben geleid —, maar op het keuringsresultaat hebben zij generlei invloed. Er gaat dus een hoeveelheid, door keurwerk verkregen, informatie verloren, en we moeten derhalve verwachten dat het systeem niet zeer efficient zal zijn. Men kan, volgens de principes in II beschreven, ook in dit geval de efficientie bepalen, hetgeen tot de in *fig. 5* weergegeven „inverse efficientiekarakteristieken" leidt. Inderdaad ziet men dat voor $K > 1$ de efficientie gering is. Alleen voor een criterium $K = 1$ is het resultaat bevredigend, hetgeen begrijpelijk is, aangezien Wharton's systeem dan als een normaal dubbel steekproefschema werkt: het maakt immers geen verschil of men de eis stelt dat in alle vijf steekproeven minder dan 1 uitvaller mag voorkomen, dan wel dat in het totaal der gekeurde eenheden geen uitvaller mag worden aangetroffen.

De slechte efficientie van het systeem was de reden waarom hiervoor in de plaats de beschreven Philips SSS-tabel werd opgesteld, die echter, zoals gezegd en zoals uit fig. 4 blijkt, wat de gebezigde keuringskarakteristieken betreft vrijwel met de R.M.I.-tabel overeenkomt.

Samenvatting. Gebruikt men als parameters voor het vastleggen van de keuringskarakteristiek van een steekproefschema het contrôlepunt en de relatieve helling, dan kan men voor elke gewenste karakteristiek zeer gemakkelijk de vereiste waarden van steekproefgrootte en criterium (of bij dubbele steekproefschema's: steekproefgrootten en criteria) berekenen. Men zal de keuring in het algemeen een grotere scherpte willen geven (grotere relatieve helling) naarmate men met grotere partijen en ook naarmate men met een hoger contrôlepunt te maken heeft. Neemt men voor dit verband een bepaalde vorm aan, dan kan men een tabel opstellen waaruit bij gegeven partijgrootte en contrôlepunt de te kiezen steekproefgrootten en criteria rechtstreeks kunnen worden afgelezen. De aldus geconstrueerde Philips SSS-tabel (Standaard-Steekproef-Systeem) is wat betreft de keuze van het genoemde verband, de verdeling in klassen, de afrondingen enz. aangepast bij de eisen die in de practijk, bij keuringen door ongeschoold personeel, kunnen worden gesteld.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Laboratorium voor Wetenschappelijk Onderzoek, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

1864: J. H. van Santen en F. de Boer: High indices of refraction of barium titanate and other heteropolar compounds (Nature London **163**, 957, 1949, 18 Juni).

Aangetoond wordt dat de polariseerbaarheid der zuurstofionen in $BaTiO_3$ en verwante verbindingen, zoals die kan worden afgeleid uit een verbeterde Lorentz-Lorenz-formule (zie deze overzichten No. **1833**), voornamelijk te danken is aan een lage karakteristieke frequentie ν_e welke optreedt in de uitdrukking $c/(\nu_e^2-\nu^2)$. Een schatting van ν_e wordt gemaakt met behulp van gegevens betreffende het kristalrooster. Tegelijkertijd volgt een qualitatieve verklaring van de hoge brekingsindex van verbindingen die een titanium-ion, omringd door zes zuurstofionen, in hun rooster bevatten.

1865: H. Rinia: The Schmidt optical system (Bull. Schweiz. Elektrotechn. Verein **40**, 580-585, 1949, No. 17).

Overzicht van de eigenschappen van de Schmidt-optiek. De conventionele vorm geeft bij geringe vergrotingen een coma van de 5e orde. Er worden middelen aangegeven om dit coma op te heffen. Oorzaak en grootte van de zijdelingse sferische aberratie worden besproken en een nieuwe methode wordt aangegeven om deze beeldfout te bestrijden.

1866*: J. D. Fast: The influence of oxygen, nitrogen and carbon on the impact strength of iron and steel (Preprint No. 7, Int. Foundry Congress 1949, Amsterdam).

Beschrijving van een methode om reproduceerbare monsters te maken van zuiver ijzer, waaraan bekende hoeveelheden zuurstof, stikstof en koolstof zijn toegevoegd, alsmede van een onderzoek naar de kerfslagwaarde van zulke monsters (zie Philips techn. T. **11**, 244-247 en 307-314, 1949, No. 8 en 10).

1867: G. H. Jonker en J. H. van Santen: Properties of barium titanate in connection with its crystal structure (Science **109**, 632-635, 1949, 24 Juni).

Uitvoerige discussie van het diëlectrisch gedrag van bariumtitanaat en verwante verbindingen als functie van de temperatuur (zie deze overzichten **R 92**, en Philips techn. T. **11**, 176-186, 1949, No. 6).

1868: W. Hoogenstraaten en F. A. Kröger: The intensity dependence of the efficiency of fluorescence of willemite phosphors (Physica **15**, 541-556, 1949, No. 5/6).

Wordt zinksilicaat dat geactiveerd is met veel mangaan, tot fluoresceren gebracht door bestraling met kortgolvig ultraviolet (2537 Å), dan hangt het rendement van de fluorescentie af van de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

temperatuur en van de bestralingsintensiteit. Het rendement is constant in een groot gebied van lage intensiteiten en ook bij de hoogste bereikbare intensiteiten. Daartussen is een overgangsgebied, waarin het rendement met toenemende intensiteit stijgt. Soortgelijke effecten werden gevonden bij zink-mangaansilicaat met kleine toevoegingen van Fe_2SiO_4. Dit gedrag kan verklaard worden op grond van de theorie van Schön en Klasens (bimoleculair proces met gatengeleiding), als de rollen van aangeslagen electronen en van open plaatsen in die theorie worden verwisseld. Er worden waarden afgeleid van de activeringsenergie voor de geleiding, uitgaande van fluorescentiecentra en doofcentra. De theoretische krommen die de afhankelijkheid van het rendement van de temperatuur aangeven, stemmen overeen met de waarnemingen.

1869: F. A. Kröger en W. Hoogenstraten: Temperature quenching and decay of fluorescence in zinc-beryllium silicates activated with manganese (Physica **15**, 557-568, 1949, No. 5/6).

Zinksilicaat en zink-berylliumsilicaat geactiveerd met mangaan bevatten verschillende soorten fluorescentiecentra, die zich onderscheiden door de golflengte van de uitgezonden straling, de waarschijnlijkheid van de stralingsovergang en de wisselwerking met de roostervibraties, welke de vernietiging van stralingsenergie veroorzaakt. De centra zijn vermoedelijk mangaan-ionen, met verschillende aantallen mangaan-ionen op naburige roosterplaatsen. Doving geschiedt doordat stralingloze overgangen plaats vinden, uitgaande van de aangeslagen toestand der centra (karakteristieke doving). Daarnaast kan doving ook plaats vinden doordat aanslagenergie naar bijzondere dovingscentra wordt getransporteerd. Dit wordt gevonden bij Zn_2SiO_4 met matige mangaan-concentraties en bij zink-beryllium-silicaat met ijzer als dover. Aangenomen wordt dat doofcentra eigenlijk fluorescentiecentra zijn, waarbij echter reeds bij lage temperatuur karakteristieke doving optreedt.

1870*: G. Diemer en K. S. Knol: Measurements on total emission conductance at 35 cm and 15 cm wavelength (Physica **15**, 459-462, 1949, No. 5/6).

Uit metingen van de kwaliteit van een trillingskring die een zg. schijfdiode bevat, werd de geleiding behorende bij de electronische demping berekend en uitgezet tegen de anodespanning. De resultaten zijn niet in overeenstemming met een theorie die uitgaat van een lineaire veldverdeling. De invloed van ruimtelading wordt besproken. In het ruimteladingsgebied speelt de demping ten gevolge van electronen die naar de kathode terugkeren („total emission damping") niet zo'n belangrijke rol als men zou verwachten indien de gemeten waarden van de geleiding voorbij de waarde voor de afgeknepen toestand worden geëxtrapoleerd.

1871*: K. S. Knol en A. Versnel: Suppression of shot effect noise in triodes and penthodes (Physica **15**, 462-464, 1949, No. 5/6).

De methode van Strutt en van der Ziel, volgens welke het van hageleffect afkomstige geruis wordt onderdrukt door een verstemming van de ingangskring, leidt tot een sterkere onderdrukking indien tussen stuurrooster en anode een capaciteit aanwezig is. Dit experimenteel gevonden resultaat kan ook theoretisch worden geïnterpreteerd.

1872: J. de Jonge en R. Dijkstra: The photodecomposition of some diazonium salts (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **68**, 424-429, 1949, No. 6).

Door bestraling van waterige oplossingen van sommige benzeendiazoniumzouten (met inbegrip van een p-hydroxy-benzeen-diazoniumzout) met licht konden de corresponderende phenolen met een hoog rendement worden verkregen. De ontleding door licht van twee p-diazo-oxyden schijnt van meer samengestelde aard te zijn.

1873: J. de Jonge, R. Dijkstra en P. B. Braun: The thermal decomposition of o-hydroxy-diazonium compounds (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **68**, 431-432, 1949, No. 6).

Experimenteel werd gevonden dat de thermische ontleding van o-hydroxy-diazoniumzouten in oplossing vermoedelijk op dezelfde wijze verloopt als de ontleding door bestraling met licht.

1874/1875: B. H. Schultz: On the application of Reynold's analogy and the heat exchange factor to the design of heat exchangers, I-III (Appl. sci. Res. **A1**, 387-416, 1949, No. 5/6).

I. De analogie tussen warmte-overdracht en wrijving van stromende media leidt volgens Reynolds tot een coëfficient van warmte-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

overdracht $h = \frac{1}{2} f C_p \varrho v$, waarin f = wrijvingscoëfficient, C_p = soortelijke warmte bij constante druk, ϱ = dichtheid en $\bar{v}$ = gemiddelde stromingssnelheid. Een verbeterde theorie geeft voor turbulente stroming in lange buizen een factor 0,55 in plaats van 0,5. Voor laminaire stroming in lange buizen wordt voor een cirkelvormige doorsnede de waarde 0,3, voor een smalle rechthoekige doorsnede de waarde 0,4 afgeleid. Een benaderende theorie geeft voor zeer korte buizen waarden van dezelfde orde van grootte.

II. Voor warmte-uitwisselaars waarbij het temperatuurverschil tussen gas en wand sterk afneemt, is het nuttig een uitwisselingsfactor K in te voeren (K = temperatuurverschil bij de inlaat gedeeld door temperatuurverschil bij de uitlaat). Met behulp van de theorie volgens I kan een verband worden afgeleid tussen K en het drukverval Δp.

III. De waarde van de evenredigheidsconstante c in de relatie $\ln K = c\, \Delta p / \frac{1}{2} \varrho \bar{v}^2$ wordt uit de literatuur-gegevens afgeleid. Metingen van de schrijver tonen aan dat, hoewel warmteoverdracht en wrijving vrij sterk afhangen van de stromingstoestand bij het begin van de buis, de factor c slechts weinig varieert.

1876: J. A. Haringx: Elastic stability of helical springs at a compression larger than the original length (Appl. sci. Res. **A1**, 418-434, 1949, No. 5/6).

Vroeger is door de schrijver gesteld dat de elastische stabiliteit van op druk belaste schroefveren niet essentieel zou afhangen van de bevestiging der veeruiteinden. Deze bewering blijkt echter slechts waar te zijn bij indrukkingen kleiner dan de oorspronkelijke veerlengte. Voor grotere indrukkingen treden bij de verschillende wijzen van bevestiging karakteristieke verschillen op. Daar men in staat is indrukkingen groter dan de veerlengte te realiseren, nl. door een normale schroefveer binnenste buiten te keren, kan dit gebied van indrukkingen experimenteel worden onderzocht. Bij deze proeven nu treedt het merkwaardige verschijnsel van het omklappen der windingen voor de dag, dat de overgang van de stabiele naar de instabiele toestand vergezelt. Bovendien wordt gevonden dat de afhankelijkheid van de bevestiging van de uiteinden — zij het kwalitatief — overeenstemt met de resultaten van de gegeven berekening.

1877: H. Bremmer: The propagation of electromagnetic waves through a stratified medium and its W.K.B. approximation for oblique incidence (Physica **15**, 593-608, 1949, No. 7).

De oplossing van de vergelijkingen van Maxwell voor een vlakke golf die invalt op een slechts in één richting inhomogeen medium, kan worden geschreven als een oneindige reeks. Elke term van deze reeks kan geometrisch aanschouwelijk geïnterpreteerd worden, terwijl de eerste term de benadering volgens Wentzel-Kramers-Brillouin voorstelt. Het oorspronkelijke vector-probleem wordt, door het invoeren van een geschikt gekozen vector van Hertz, omgezet in een scalairprobleem. De toepassing van de zadelpunt-methode op de individuele termen van de genoemde reeks leidt tot eenvoudige geometrisch-optische benaderingen.

1878: F. A. Kröger: Sodium and lithium as activators of fluorescence in zinc-sulphide (J. Opt. Soc. Amer. **39**, 670-672, 1949, No. 8).

Lithium en natrium opgelost in zinksulfide werken als activatoren of als dovers, naar gelang al of niet chloor aanwezig is. De fluorescentie treedt alleen op bij lage temperaturen en bij bestraling met kortgolvig ultraviolet (2537 Å). De lithiumband heeft een maximum bij 4380 Å (sfaleriet), de natriumband bij 3940 Å (sfaleriet) en 3800 Å (wurtziet). Het verschil tussen sfaleriet en wurtziet en een verschuiving van de banden door toevoeging van cadmiumsulfide wijzen er op dat men te doen heeft met processen waarbij electronen overspringen tussen atomen van verschillende soort (electron-transfer). De centra zijn vermoedelijk Li^+- resp. Na^+-ionen, gepaard met Cl-ionen, beide op normale roosterplaatsen. De electronenniveaus zijn roosterniveaus, gewijzigd door aanwezigheid van monovalente ionen (geïnduceerde activering). De doofcentra zijn vermoedelijk Li_2S resp. Na_2S, die zodanig in het ZnS-rooster zijn opgenomen dat de alkali-ionen twee roosterplaatsen innemen, terwijl van de overeenkomstige anion-plaatsen er één is bezet door S^- en één door een electron.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!